www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

9e JAARGANG No. 6, blz. 161-192 JUNI 1947

Philips Technisch Tijdschrift

BEHANDELENDE TECHNISCHE VRAAGSTUKKEN
SAMENHANGENDE MET DE PRODUCTEN, WERKWIJZEN EN ONDERZOEKINGEN
VAN DE N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN

REDACTIE: HET NATUURKUNDIG LABORATORIUM DER N.V. PHILIPS' GLOEILAMPENFABRIEKEN, EINDHOVEN

EEN DRAAGGOLFTELEFONIE-SYSTEEM VOOR 48 KANALEN

I. DE KEUZE VAN DE MODULATIEMETHODE

door G. H. BAST *), D. GOEDHART en J. F. SCHOUTEN. 621.395.44:621.396.619.2

De in Nederland sinds 1935 speciaal voor draaggolftelefonie gelegde kabels blijken, wat demping en overspreken betreft, bij een versterkerafstand van 25 km geschikt te zijn voor het overbrengen van frequenties tot ca 200 kper/sec. Om van deze mogelijkheid ten volle profijt te trekken, is in samenwerking tusschen het Staatsbedrijf der P.T.T. en de N.V. Philips een draaggolftelefonie-systeem voor 48 kanalen ontwikkeld. De modulatie geschiedt bij dit systeem in drie trappen. Door de eerste modulatie, met de zg. primaire draaggolf van 60 kper/sec, worden alle kanalen naar eenzelfde frequentieband van 60-64 kper/sec getransponeerd (universeel voorkanaal), waarbij door een universeel kanaalbandfilter de ongewenschte modulatieproducten worden onderdrukt. Bij de tweede modulatie worden telkens 12 kanalen door de secundaire draaggolven 192, 196, . . . , 236 kper/sec tot een zg. voorgroep, gelegen in de frequentieband 252-300 kper/sec, uitgespreid, waarbij slechts een zeer eenvoudige filtering noodig is. De vier voorgroepen worden door een derde modulatie met vier tertiaire draaggolven (240, 360, 408 en 456 kper/sec) op hun plaatsen in het frequentiegebied van 12-204 kper/sec gebracht. De motieven voor de keuze van deze modulatiemethode worden in dit artikel uitvoerig besproken. Voor de verwezenlijking van het universeele kanaalbandfilter bij 60 kper/sec is gebruik gemaakt van het nieuwe bij Philips ontwikkelde magnetische materiaal voor spoelkernen, „Ferroxcube", waardoor niet alleen aan de eischen wat betreft de filterkarakteristiek kon worden voldaan (de spoelen van het genoemde filter hebben een $Q = 500$ à 600), maar bovendien het volume der spoelen met een factor 5 kon worden verkleind. De bespreking van de hieruit voortvloeiende belangrijke consequenties voor de constructieve opbouw van het systeem blijft aan een later artikel voorbehouden.

De ontwikkeling der draaggolftelefonie

Bij een lange telefoonverbinding maken de kosten van de lijn een groot deel van de totale kosten uit. Het streven is dan ook reeds zeer oud om deze lijn voor verscheidene gesprekken tegelijk te gebruiken. De grondgedachte daarbij is, dat de spraak, die opgebouwd is uit trillingen, voornamelijk met frequenties van 200-3400 per/sec, niet alleen kan worden overgebracht door electrische trillingen met dezelfde frequenties, doch eveneens door electrische trillingen met willekeurig hooge frequenties, waarbij de benoodigde breedte van de frequentieband dezelfde is. De laagfrequente trillingen worden daartoe, analoog aan de in de radio gangbare techniek, aan de zendzijde gemoduleerd op een draaggolf, waardoor een verschuiving van de frequentieband tot stand komt. Aan de ontvangzijde worden de trillingen gedemoduleerd met behulp van dezelfde draaggolf, waardoor weer de oorspronkelijke frequenties worden verkregen. Het aantal gesprekken dat men aldus over één lijn kan overbrengen door de spraakbanden (kanalen) zij aan zij te leggen, wordt bepaald door de breedte van de totale frequentieband welke door de lijn kan worden overgebracht.

De eerste practische uitvoeringen van deze gedachte ontstonden in de jaren 1912-1920, bij de komst van de drie-electrodenbuis. Het betrof hier met name de overdracht via bovengrondsche lijnen, die de gewenschte breede frequentieband bleken te kunnen overbrengen. In de periode 1920-1930 kwam deze techniek tot aanzienlijke ontplooiing in landen met veel bovengrondsche lijnen, vooral in Amerika.

Kort na 1930 begon ook de telefoonkabel in aanmerking te komen voor de toepassing van draaggolftelefonie. Het overbrengen van breede frequentiebanden werd hier mogelijk door het gebruik van op regelmatige afstanden geplaatste versterkers. Een systeem dat eerst in Amerika en later ook in Europa veel werd toegepast, werkte met 12 spreekkanalen op één aderpaar van de kabel. Voor ieder kanaal werd een breedte van 4 kper/sec

*) Staatsbedrijf der P.T.T.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

gereserveerd. De hoogste overgebrachte frequentie was 60 kper/sec. In Amerika begon men met het hiervoor geschikt maken van aders uit reeds bestaande kabels (o.a. door het verwijderen van de Pupinspoelen). In Europa werd er vrijwel algemeen toe overgegaan nieuwe kabels voor dit doel te construeeren en te leggen. Het bleek allengs dat, door de verkregen inzichten en de geleidelijk verbeterde techniek van de constructie der kabels, de hoogste over te brengen frequentie ver boven 60 kper/sec en zelfs tot 200 kper/sec was op te voeren [1]). De sedert 1935 in Nederland op vrij groote schaal gelegde draaggolfkabels bieden hierdoor de mogelijkheid tot het overbrengen van ca 50 gesprekken over één aderpaar.

In Amerika en Engeland kwamen voorts omstreeks 1937-1938 ook draaggolfsystemen op coaxiale kabels in gebruik, waarbij de maximaal over te brengen frequentie van 1000-3000 kper/sec het mogelijk maakte eenige honderdtallen gesprekken via een enkel coaxiaal circuit over te brengen.

In welke gevallen zal men nu besluiten tot invoering van een draaggolftelefonie-systeem? Draaggolftelefonie vindt, vergeleken bij de normale laagfrequent-telefonie, haar economische rechtvaardiging in de overweging, dat de kosten van het aderpaar kunnen worden omgeslagen over alle kanalen, die hierop gelijktijdig kunnen worden ondergebracht. Uit de vermindering van de kosten van de lijn per kanaal moeten echter eerst de kosten van de draaggolf-eindapparatuur worden bestreden. Het voor de eindapparatuur benoodigde bedrag drukt des te zwaarder naarmate de lengte van de kabel geringer is, zoodat er in beginsel een minimale kabellengte is aan te wijzen waarbeneden het toepassen van draaggolftelefonie niet meer economisch gerechtvaardigd is. Door de geleidelijke verbetering der techniek hebben de kosten van de eindapparatuur de neiging te dalen, waardoor draaggolftelefonie voor steeds kortere afstanden in aanmerking komt. Dit wordt nog in de hand gewerkt doordat op kortere afstanden aan aanmerkelijk meer verbindingen behoefte bestaat dan op lange afstanden, zoodat de apparatuur dan in grootere series kan worden vervaardigd. Waar dus de tendentie bestaat tot een steeds kleiner worden van de minimale economische afstand, is het zeer moeilijk over deze afstand een definitieve uitspraak te doen. Als indicatie moge echter dienen, dat er thans reeds in het algemeen geen reden meer bestaat om systemen voor laagfrequent-telefonie met versterkers te bouwen, aangezien dan in den regel draaggolftelefonie economischer is. Voor afstanden waarbij men nog met laagfrequent-telefonie zonder versterkers kan werken is deze laatste oplossing in den regel economischer.

Het toepassen van draaggolftelefonie in Nederland

Door de geschetste ontwikkeling bevond men zich in Nederland juist vóór de tweede wereldoorlog in een stadium, waarin de toepassing van draaggolftelefonie op ongekende schaal was te verwachten.

Thans, nu de oorlog over ons land is gegaan, bestaat voor deze verwachting nog meer reden; immers, de ontstane achterstand en de aangerichte vernielingen hebben de behoefte aan uitbreiding sterk vergroot.

Enkele gegevens uit het Nederlandsche net mogen een inzicht geven in de stand van zaken in het begin van de oorlog. Het Nederlandsche net is ingedeeld in 20 districten, elk met een districtscentrale, waarover het verkeer van dat district met andere districten wordt geleid. Het net dat deze 20 districtscentrales onderling verbindt, noemt men het interdistrictsnet. Toen de aan de gang zijnde gestadige uitbreiding omstreeks 1940/41 door de oorlogsomstandigheden vastliep, waren er in Nederland op dit interdistrictsnet ca 1500 telefoonverbindingen met behulp van draaggolftelefonie in gebruik, met een gemiddelde lengte per circuit van ca 100 km. De kabels waarop deze 1500 draaggolfverbindingen waren geïnstalleerd zijn in *fig. 1* aangegeven.

Het aantal laagfrequente verbindingen van dezelfde soort was op dat moment ook ongeveer 1500, zoodat juist het punt was bereikt waarop de toepassing van draaggolftelefonie in het interdistrictsverkeer die van de laagfrequent-telefonie zou gaan voorbijstreven.

Op dat moment was in Nederland reeds een totale lengte van ongeveer 1000 km draaggolfkabel gelegd. Iedere kabel bevat 24 aderparen, zoodat bij het volledig uitrusten van alle kabels met 12 kanalen per aderpaar toen reeds de mogelijkheid bestond om over $1000 \times 24 \times 12/100 = 2880$ verbindingen van 100 km lengte te beschikken. Een uitbreiding tot systemen met 24 of 48 kanalen per aderpaar kon zelfs tot 5760 resp. 11 520 verbindingen op het reeds bestaande kabelnet leiden.

Het vooruitzicht van deze ontwikkelingsmogelijkheid en van het dreigende gevaar van groote vernielingen heeft tijdens de oorlog aanleiding gegeven tot een overleg tusschen het Staatsbedrijf der P.T.T. en de N.V. Philips, teneinde tijdig klaar te staan voor een vlot herstel en voor de te

[1]) G. H. Bast, Over de toepassing van draaggolftelefonie in het Nederlandsche telefoonnet, T. Ned. Radiogenootschap **9**, 279-293, 1941/42.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

verwachten uitbreidingen. Dit overleg heeft geleid tot de ontwikkeling van een nieuw draaggolftelefonie-systeem, dat 48 kanalen bevat. Hierdoor worden de mogelijkheden van overdracht over de moderne draaggolfkabels ten volle gebruikt. Wat de algemeene opzet betreft, is dit systeem op de belangrijkste punten in overeenstemming gebracht met de internationale normalisatie voor draaggolftelefonie-systemen.

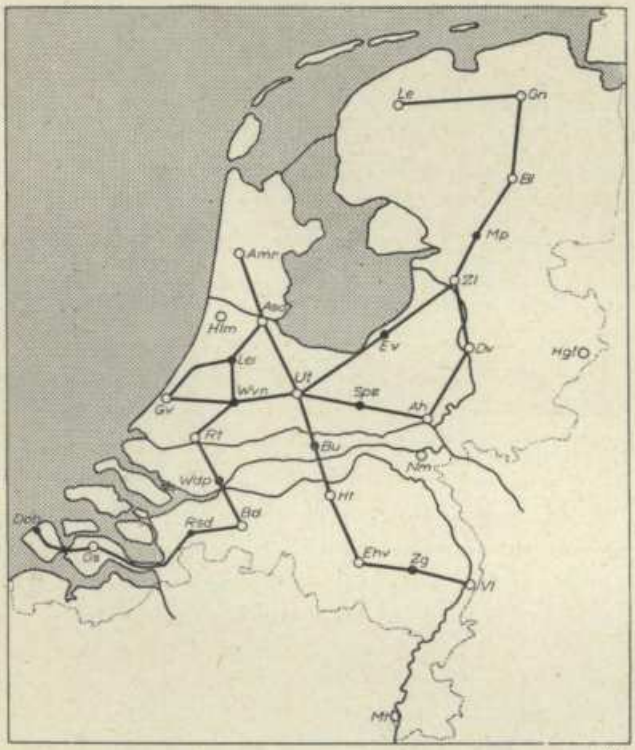


Fig. 1. Het Nederlandsche telefoonnet is ingedeeld in 20 districten. De onderlinge verbindingen der 20 districtscentrales (aangegeven door open cirkeltjes) vormen het zg. interdistrictsnet. Op de kaart zijn aangegeven de interdistrictsverbindingen met behulp van draaggolftelefonie die omstreeks 1940/41 in gebruik waren De gevulde cirkeltjes zijn versterkerstations.

Het is de bedoeling in dit tijdschrift in een aantal artikelen een beschrijving te geven van de grondslagen en van de belangrijkste bijzonderheden van het nieuwe draaggolfsysteem. O.a. zullen wij daarbij ingaan op nieuwe oplossingen van constructieve aard, welke het bezigen van het nieuwe, in het Philips-Laboratorium ontwikkelde magnetische materiaal voor filterspoelen: „Ferroxcube" [2]), mogelijk heeft gemaakt. Het onderhavige artikel zal zich echter voornamelijk bezighouden met de grondslagen van het systeem, met name de keuze van de modulatiemethode.

Waarom 48 kanalen?

Om te beginnen is het gewenscht een toelichting te geven bij de eerder genoemde frequentiegrens tot welke de kabels zijn te gebruiken en die het mogelijke aantal kanalen per aderpaar bepaalt.

Bij het vaststellen van de hoogste frequentie welke door een kabel kan worden overgebracht, spelen met name twee gezichtspunten een rol: de demping en het overspreken. De demping van een kabel neemt voor hoogere frequenties steeds toe. Dit is te ondervangen door op regelmatige afstanden lijnversterkers te plaatsen, en door met behulp van zg. effenaars (egalisatie-netwerken) het verschil in demping voor verschillende frequenties op te heffen [3]). Deze maatregelen zijn echter slechts dan effectief, indien de demping door de kabel niet zóó groot is, dat het bij de eerstvolgende versterker binnenkomende signaal gedaald is op een niveau waarop de steeds aanwezige ruischspanningen enz. in storende mate merkbaar worden. Die frequentie waarvoor de maximaal toelaatbare demping optreedt, is de hoogste die de kabel kan overbrengen. Aangezien de demping met de kabellengte toeneemt, zal dus de frequentiegrens hooger komen te liggen naarmate de versterkers op kleinere onderlinge afstand in de kabel worden geschakeld. De ligging der knooppunten in het Nederlandsche net deed zien, dat op den duur een versterkerafstand van ongeveer 25 km zou kunnen worden genormaliseerd. Bij deze versterkerafstand wordt de overdracht van een frequentieband tot ca 200 kper/sec mogelijk. Anderzijds legt het overspreken tusschen verschillende aders, dat wordt veroorzaakt door inductieve en capacitieve koppelingen tusschen deze aders, een beperking aan de hoogste over te brengen frequenties op. De bedoelde koppelingen zijn te wijten aan geringe asymmetrieën van de verschillende aders in de kabel en doen zich sterker gevoelen naarmate de stroomen door de kabel een hoogere frequentie hebben. Door een zeer zorgvuldige constructie en door bepaalde kunstgrepen bij het aaneensluiten der verschillende stukken waaruit de kabel wordt samengesteld, bleek het mogelijk de kabel ook wat dit overspreken betreft geschikt te maken [4]) voor een overdracht van frequenties tot ca 200 kper/sec.

Een frequentieband van ca 200 kper/sec stelt ons in staat ongeveer 50 kanalen, ieder met een breedte van 4 kper/sec, over te brengen. Bij groote aantallen kanalen is het gebruikelijk deze te bundelen tot groepen van 12. Dit leidt in ons geval tot een systeem van 4 groepen van 12 kanalen, dus totaal tot 48 kanalen.

[2]) J. L. Snoek, Niet-metallisch magnetisch materiaal voor hooge frequenties, Philips techn. T. **8**, 353-360, December 1946.

[3]) Zie bijv. H. van de Weg, Het egaliseeren van telefoonkabels, Philips techn. T. **7**, 184-191, 1942.

[4]) Zie het in noot [1]) aangehaalde artikel.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Wij zullen thans eerst de gebezigde modulatiemethode in haar geheel beschrijven en daarna ingaan op de argumenten die tot de keuze van deze methode hebben geleid.

De modulatiemethode van het 48-kanalen-systeem

De 48 laagfrequente kanalen worden in de frequentieband 12-204 kper/sec gebracht door middel van drie modulatietrappen.

In de eerste modulatietrap (*fig. 2*) wordt elk kanaal gemoduleerd op een primaire draaggolf, waarvan de frequentie voor alle kanalen dezelfde is, nl. 60 kper/sec. Door deze modulatie ontstaan voor elk kanaal de beide zijbanden 60-64 en 56-60 kper/sec, terwijl de draaggolf, zooals vrijwel steeds in de draaggolftelefonie, in de modulator wordt onderdrukt. Met behulp van een kanaalbandfilter, dat voor alle kanalen identiek is, wordt vervolgens de onderzijband onderdrukt. De bovenzijband, van 60-64 kper/sec, wordt doorgelaten.

Fig. 2. Eerste modulatie van het 48-kanalen-systeem. Door modulatie van het laagfrequente kanaal (*a*), met frequenties $f = 0$-4 kper/sec, op een draaggolf met $f = 60$ kper/sec wordt het voor alle 48 kanalen identiek gelegen voorkanaal (*b*) van 60-64 kper/sec gevormd.
In dit en de volgende modulatie-schema's in dit artikel wordt een draaggolf door een staand pijltje aangegeven, een gewenschte zijband door een gevulde driehoek, een ongewenschte zijband door een gestippelde driehoek. Het oploopen van de begrenzing van de driehoek (resp. het trapezium in latere figuren) geeft het oploopen van de spraakfrequentie weer (resp. algemeener: van de modulatiefrequentie).

Wij hebben nu, op 48 leidingen, 48 zg. vóórkanalen verkregen, alle gelegen in de frequentieband 60-64 kper/sec.

In de tweede modulatietrap (*fig. 3*) worden twaalf van de aldus verkregen voorkanalen gemoduleerd op twaalf verschillende secundaire draaggolven, van 192, 196, ..., 236 kper/sec. Hierdoor ontstaan o.a. twaalf bovenzijbanden, die in totaal het frequentiegebied van 252-300 kper/sec beslaan en die nu, op één leiding gebracht, tezamen de zg. vóórgroep vormen. De twaalf ongewenschte onderzijbanden, die in het gebied van 128-176 kper/sec liggen, worden met behulp van een groepbandfilter onderdrukt. De drie overige groepen van twaalf voorkanalen ondergaan eenzelfde bewerking, elke groep met twaalf secundaire draaggolven van dezelfde frequenties (192 ... 236 kper/sec) en met een identiek groepbandfilter. Zoo verkrijgt men, op vier leidingen, vier voorgroepen, alle gelegen in de frequentieband 252-300 kper/sec.

In de derde modulatietrap (*fig. 4*) worden de vier aldus verkregen voorgroepen op vier tertiaire draaggolven gemoduleerd teneinde naar de gewenschte definitieve plaatsen in de frequentieband 12-204 kper/sec te worden gebracht. Deze tertiaire draaggolven hebben de frequenties 240,

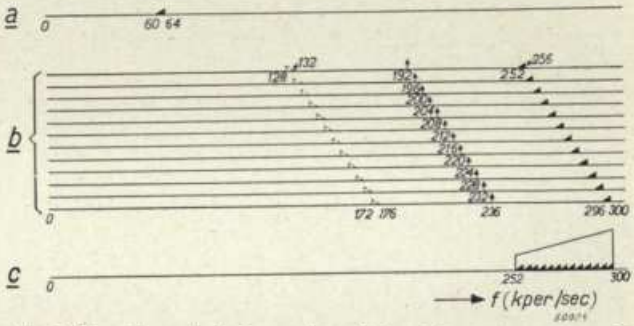


Fig. 3. Tweede modulatie van het 48-kanalen-systeem. Twaalf voorkanalen (*a*) (f = 60-64 kper/sec) worden tot een voorgroep (*c*) (252-300 kper/sec) gebundeld, door elk voorkanaal op één der twaalf secundaire draaggolven 192, 196, ..., 236 kper/sec te moduleeren (*b*).

360, 408 en 456 kper/sec. De vier groepen worden hierdoor resp. naar de banden 12-60, 60-108, 108-156 en 156-204 kper/sec getransponeerd en kunnen thans op één aderpaar worden gebracht. Zooals een nadere beschouwing leert en in fig. 4 is aangeduid, komt bij de derde modulatie de eerste groep in zg. „bovenzijbandligging", de drie overige groepen komen in „onderzijbandligging" [5]).

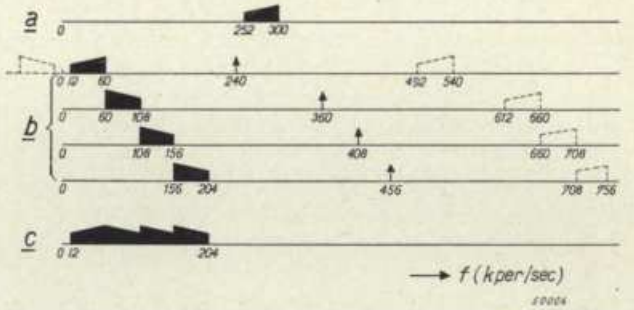


Fig. 4. Derde modulatie van het 48-kanalen-systeem. De vier voorgroepen (*a*) van 252-300 kper/sec worden met behulp van vier tertiaire draaggolven 240, 360, 408, 456 kper/sec (*b*) op de gewenschte definitieve plaatsen in de frequentieband 12-204 kper/sec (*c*) gebracht (vorming van een — onvolledige — „supergroep").

[5]) Bij een kanaal in bovenzijbandligging correspondeeren de hoogste kanaalfrequenties met de hoogste spraakfrequenties q van het overgebrachte gesprek, zooals altijd het geval is in de bovenzijband bij een enkelvoudige modulatie; vgl. fig. 2. Bij een kanaal in onderzijbandligging vindt men de hoogste spraakfrequenties in de laagste kanaalfrequenties terug. Dat bij enkelvoudige modulatie de bovenzijband $p + q$ van een gemoduleerde draaggolf p zich in bovenzijbandligging bevindt, de onderzijband $p-q$ in onderzijbandligging, leidt men direct af uit het feit, dat q in het eerste geval met positief, in het tweede geval met negatief teeken optreedt. Bij meervoudige modulatie is het echter mogelijk, dat $p < q$. De onderzijband (gevormd door de verschilfrequenties $|p-q|$) heeft dan de frequenties $q-p$, zoodat zich de onderzijband toch in bovenzijbandligging bevindt. Dit is nu juist het geval bij onze eerste groep in fig. 4.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

In *fig. 5* is het volledige modulatiesysteem grafisch voorgesteld, terwijl het blokschema in *fig. 6* een globaal overzicht geeft van de apparatuur die aan dit samenstel van drie modulatietrappen beantwoordt.

Wanneer we nu er toe overgaan deze op het eerste gezicht ingewikkelde en in het geheel niet voor de hand liggende modulatiemethode te motiveeren, dan kunnen wij vooropstellen, dat de eigenaardige keuze van „boven"- of „onderzijbandligging" der kanalen feitelijk geen motiveering onzerzijds behoeft. Deze keuze was bepaald door de wensch om rekening te houden met de adviezen van het C.C.I.F. (Comité Consultatif International de Téléphonie [6])). Wat de eigenlijke modulatie betreft, is een opmerking vooraf gewenscht: kenmerkend voor de beschreven methode is het, dat alle kanalen zoo veel mogelijk een identieke behandeling ondergaan. De primaire draaggolf is identiek voor alle 48 kanalen, evenzoo het kanaalbandfilter. Het groepbandfilter en de secundaire draaggolven zijn identiek voor alle vier groepen.

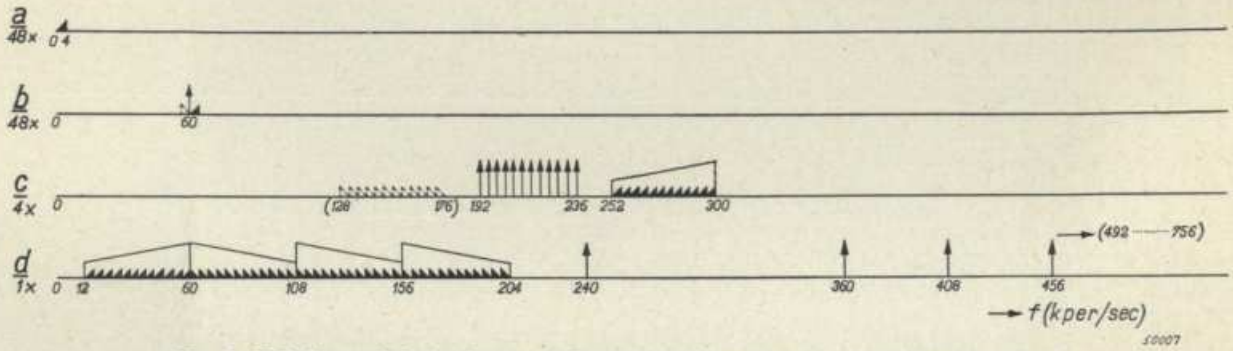


Fig. 5. Volledig modulatieschema van het 48-kanalen-systeem. *a*) Laagfrequent kanaal. *b*) Eerste modulatie en voorkanaal. *c*) Tweede modulatie en voorgroep. *d*) Derde modulatie en definitieve ligging der 48 kanalen.

De keuze van onder- of bovenzijbandligging der kanalen

In Nederland werd bij het invoeren van draaggolftelefonie in 1938 gebruik gemaakt van de band van 8-56 kper/sec voor 12 kanalen. Aanvankelijk werden, in aansluiting bij wat in Engeland geschiedde, de onderzijbanden van de draaggolven 12, 16, . . . , 56 kper/sec overgezonden. Toen de ontwikkeling was afgesloten, bleek uit het internationale overleg, dat Engeland intusschen was overgegaan tot de Amerikaansche methode, waarbij de bovenzijbanden van de genoemde draaggolven werden gebezigd, en dat deze methode voor internationale standaardisatie aan het C.C.I.F. werd voorgesteld. Hoewel de verbindingen overigens geheel aan de kwaliteitseischen voldeden, was de ontstane situatie op den duur niet bevredigend.

Toen nu de ontwikkeling der kabels toepassing van eenige malen 12 kanalen beloofde, was er dus alle reden om bij de noodzakelijke vernieuwing van het systeem behalve de uitbreiding van het aantal kanalen ook de aanbevelingen van het C.C.I.F. in aanmerking te nemen.

De laatste rapporteursvergadering van het C.C.I.F. vóór de oorlog (Londen, December 1938) nam een voorstel aan om de ligging der frequentiebanden in 12-kanalen-systemen te normaliseeren. Voor 12 kanalen in het gebied van 12-60 kper/sec koos men de bovenzijbandligging. Zonder systemen met 24, 36 of 48 kanalen te discussieeren werd verder voor 60-300 kper/sec de onderzijbandligging, voor 312-552 kper/sec de bovenzijbandligging, voor 564-804, 812-1052, 1060-1300 kper/sec wederom de onderzijbandligging aanbevolen. Deze op het eerste gezicht weinig systematische keuze kwam voort uit de oplossing welke in Engeland voor het probleem van de transmissie van zeer veel kanalen over een coaxiale kabel was gekozen. De genoemde oplossing is gebaseerd op de in Amerika [7]) ingevoerde modulatiemethode, waarbij 12 kanalen in de eerste modulatietrap tot een groep van 60-108 kper/sec worden vereenigd, terwijl in een tweede modulatietrap telkens vijf groepen worden vereenigd tot een zg. supergroep van 312-552 kper/sec. In een derde modulatietrap worden de supergroepen op hun definitieve plaats gebracht.

Hoewel de besluiten van de vergadering te Londen nog niet in een algemeen advies van het C.C.I.F. waren omgezet [8]), werd het raadzaam geoordeeld de verdere ontwikkeling in Nederland aan te sluiten bij de Londensche conclusies.

Dit verklaart de op zichzelf genomen weinig logische keuze van onder- of bovenzijbandligging voor de vier groepen van het 48-kanalen-systeem.

Enkelvoudige of meervoudige modulatie?

Teneinde de keuze van de beschreven modulatiemethode van het 48-kanalen-systeem toe te lichten, beperken wij ons eerst tot het geval, dat men slechts een systeem van 12 kanalen wil opbouwen.

De meest voor de hand liggende methode om de 12 kanalen in de hiervoor genormaliseerde frequentieband 12-60 kper/sec onder te brengen, is kennelijk die waarbij de 12 laagfrequente kanalen direct worden gemoduleerd op 12 draaggolven van

[6]) De discrepantie tusschen de beginletters van dit Comité en de gebezigde afkorting vindt haar oorzaak in het feit, dat de afkorting C.C.I.T. reeds in gebruik was voor het Comité Consultatif International de Télégraphie.

[7]) C. W. Green en E. I. Green, A carrier telephone system for toll cables, Bell System Techn. J. **17**, 80-105, 1938. F. J. D. Taylor, Carrier System Nr. 7, Post Office Electr. Eng. J. **34**, 101-108 en 161-168, 1941/42.

[8]) Inmiddels is dit geschied op de veertiende plenaire zitting van het C.C.I.F. te Montreux in October 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

12, 16, . . . , 56 kper/sec en waarbij de ongewenschte onderzijband en andere ongewenschte modulatieproducten [9]) worden onderdrukt door 12 banddoorlatende filters, met een doorlatingsgebied gelegen bij 12-16, 16-20, . . . , 56-60 kper/sec (enkelvoudige modulatie [10])).

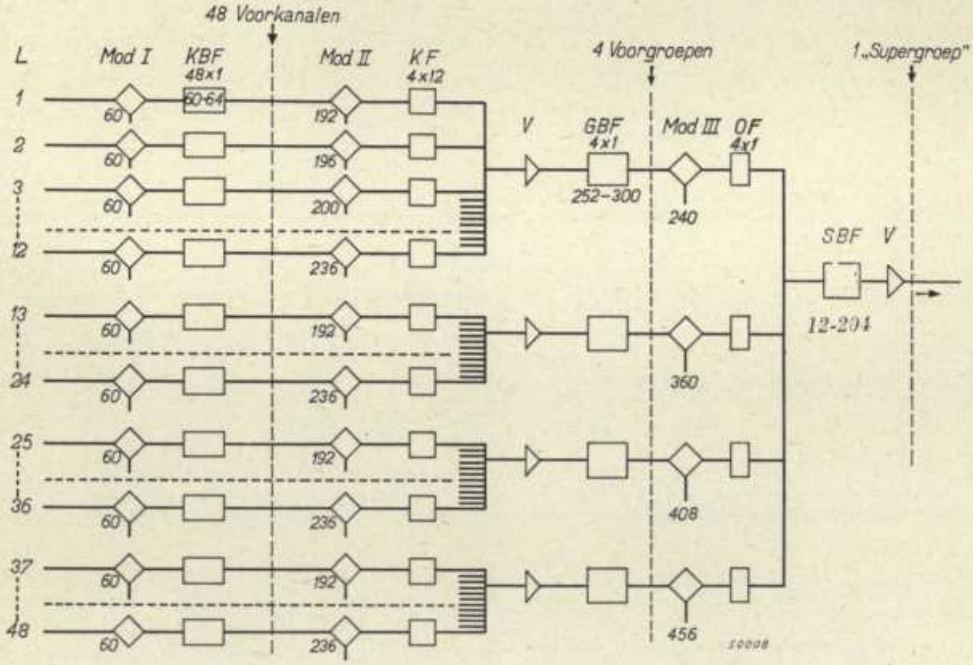


Fig. 6. Blokschema van de drie modulatietrappen van het 48-kanalen-systeem. Bij *L* komen de 48 laagfrequente kanalen binnen. *Mod I* eerste modulator (toegevoerde draaggolf 60 kper/sec) *KBF* kanaalbandfilter, *Mod II* tweede modulator (toegevoerde draaggolven 192, 196, . . . , 236 kper/sec), *KF* filter, bestaande uit een enkele kring, *V* versterkers, *GBF* groepbandfilter, *Mod III* derde modulator (toegevoerde draaggolven 240, 360, 408, 456 kper/sec), *OF* ontkoppelfilter, bestaande uit een enkele kring, *SBF* supergroepbandfilter. De filters *OF* worden toegevoegd omdat de uitgangen der vier modulatoren *Mod III* niet klakkeloos parallel geschakeld kunnen worden.

Bij een dergelijk systeem met enkelvoudige modulatie doen zich, ten deele reeds bij 12 kanalen maar vooral naarmate men het aantal kanalen wenscht uit te breiden, een tweetal nadeelen gevoelen. In de eerste plaats moet een groot aantal draaggolven worden opgewekt, nl. een aantal gelijk aan dat der kanalen. In de tweede plaats moet een gelijk aantal onderling verschillende bandfilters worden ontwikkeld. Op zichzelf genomen is het optreden van zoovele onderling verschillende bouwsteenen van een systeem op economische gronden reeds een bezwaar. Bovendien wordt het bij hoogere frequenties steeds moeilijker een banddoorlatend filter met een bepaald doorlatingsgebied, nl. ter breedte van 4 kper/sec, te realiseeren. Een van de oorzaken hiervan is, dat met name de in een filter gebezigde spoelen behept zijn met verliezen. Deze verliezen veroorzaken o.a. aan de randen van het doorlatingsgebied een oploopen van de demping (afronding van de doorlaatkarakteristiek). Weliswaar kan dit tot op zekere hoogte door een effenend netwerk worden gecompenseerd, doch dit beteekent een ongewenschte complicatie en leidt tot een extra demping, terwijl de overblijvende verschillen in afronding voor de diverse filters nog het onaangename gevolg hebben, dat de kanalen van het systeem niet alle precies dezelfde eigenschappen hebben. Een andere moeilijkheid bij het realiseeren van bandfilters voor hooge frequenties ontstaat door de onvermijdelijke geringe afwijkingen van de nominale waarde der gebezigde zelfinducties en capaciteiten en door de variaties dezer grootheden met de temperatuur. Deze effecten immers geven aanleiding tot een bepaalde relatieve afwijking van de gecischte grensfrequenties van het filter. De absolute afwijking, welke in de draaggolftelefonie steeds bepalend is, neemt dus lineair met de frequentie toe.

Deze en soortgelijke overwegingen hebben er toe geleid, dat men voor systemen met vele kanalen

[9]) Zie bijv.: F. A. de Groot en P. J. den Haan, Modulatoren voor draaggolftelefonie, Philips techn. T. **7**, 83-91, 1942.

[10]) In beginsel was het in dit tijdschrift beschreven 17-kanalen-systeem een uitvoering van deze gedachte. Alleen werden op verlangen van de Australische P.T.T., door wie dit systeem in gebruik zou worden genomen, aan de oorspronkelijke 12 kanalen aan de onderzijde van de frequentieband twee, aan de bovenzijde drie kanalen toegevoegd, waardoor tenslotte een 17-kanalen-systeem in de band 4-72 kper/sec ontstond. Zie o.a. Philips techn. T. **6**, 329, 1941; **7**, 104, 1942; **8**, 137 en 168, 1946.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

is overgegaan tot meervoudige modulatie. Ook reeds voor systemen met niet meer dan 12 kanalen worden diverse methoden van meervoudige modulatie toegepast. Om in te zien, in hoeverre hierbij de bovenvermelde nadeelen der enkelvoudige modulatie worden vermeden, beschouwen wij als voorbeeld het 12-kanalen-systeem dat in 1938 in Nederland werd ingevoerd (*fig.* 7).

Bij dit 12-kanalen-systeem wordt, evenals in het boven beschreven 48-kanalen-systeem, door een primaire draaggolf van 60 kper/sec elk kanaal in een, voor alle kanalen identiek gelegen, voorkanaal van 60-64 kper/sec getransponeerd. Dit „universeele" voorkanaal wordt van de ongewenschte onderzijband (en andere ongewenschte modulatieproducten) ontdaan door een kanaalbandfilter. In de tweede modulatietrap worden met behulp van 12 secundaire draaggolven, van 72, 76, ..., 116 kper/sec, de kanalen naar de gewenschte plaatsen in de definitieve frequentieband 8-56 kper/sec gebracht [11]). Zooals men in fig. 7 ziet, vallen bij de tweede modulatie alle ongewenschte zijbanden ruimschoots buiten deze definitieve frequentieband, nl. in het gebied 132-180 kper/sec. Voor het uitzeven van de gewenschte zijbanden is derhalve in de tweede modulatietrap in beginsel niet meer in ieder kanaal een afzonderlijk filter noodig: het doel wordt in hoofdzaak al bereikt met één groepbandfilter voor alle 12 kanalen tezamen, dat een doorlatingsgebied van 8-56 kper/sec heeft. Het onderdrukken van de ongewenschte modulatieproducten, die behalve de ongewenschte zijbanden nog optreden, kan in ieder kanaal met een zeer eenvoudig filter, bestaande uit slechts één afgestemde kring, worden bereikt. Ook het groepbandfilter is gemakkelijk te realiseeren dank zij het relatief zeer breede doorlaatgebied, dat bovendien aan de randen niet scherp afgesneden behoeft te zijn.

Vergeleken bij het eerst beschouwde systeem met enkelvoudige modulatie, toegepast op 12 kanalen, zijn bij dit systeem met twee modulatietrappen inderdaad de eerder genoemde bezwaren ten deele vermeden: de 12 kanaalbandfilters zijn alle identiek, en de eigenschappen van alle kanalen wat betreft de frequentiekarakteristiek zijn nu geheel dezelfde. Het aantal draaggolven is echter niet verminderd, en voor het „universeele" kanaalbandfilter heeft men — althans bij het zoojuist beschouwde systeem — hetzelfde frequentiegebied als voor het filter van het hoogste kanaal bij enkelvoudige modulatie.

Voor systemen met meer dan 12 kanalen gelden analoge beschouwingen, alleen worden de voordeelen van de meervoudige modulatie nog geprononceerder. Men bundelt de kanalen tot groepen van 12 en manipuleert in verdere modulatietrappen met deze groepen, of zelfs met supergroepen die men door samenvatting van telkens

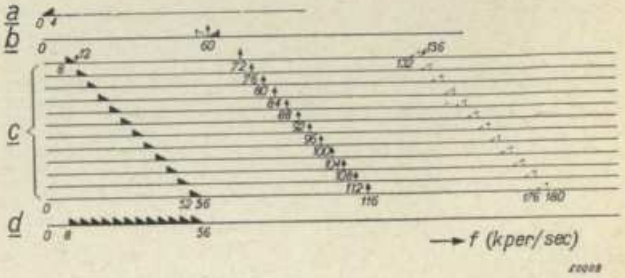


Fig. 7. Modulatieschema van het 12-kanalen-systeem dat 1938 in Nederland werd ingevoerd. Dubbele modulatie, met een universeel voorkanaal bij 60-64 kper/sec en definitieve ligging der kanalen in de frequentieband 8-56 kper/sec.

vijf groepen verkrijgt. De vorming van de voorgroep van 12 kanalen in ons 48-kanalen-systeem is geheel analoog aan de vorming van de definitieve groep in het zoojuist beschreven 12-kanalensysteem, alleen ligt de voorgroep nu, zooals eerder vermeld, bij 252-300 kper/sec. De ongewenschte zijbanden liggen wederom, dank zij de hooge frequentie van het voorkanaal (60-64 kper/sec), op een groote frequentie-afstand van de gewenschte band en kunnen dus gemakkelijk in een groepbandfilter worden onderdrukt. Bij het overbrengen der vier voorgroepen naar hun definitieve plaatsen (in de supergroep, zooals we ze gemakshalve willen aanduiden, al is er niet sprake van een supergroep in de zin der C.C.I.F.-normalisatie) door de derde modulatie is opnieuw een filter noodig, het supergroepbandfilter. Dit wordt echter weer zeer eenvoudig, daar ook hier de ongewenschte zijbanden op groote frequentie-afstanden liggen (zie fig. 4). Het aantal noodige draaggolven bedraagt thans slechts 17 voor 48 kanalen en de frequentieband van het universeele kanaalbandfilter (60-64 kper/sec) ligt hier aanmerkelijk lager dan de frequentiebanden der filters waartoe men bij enkelvoudige modulatie zou komen (tot 200 kper/sec).

Het resultaat van de vergelijking van enkelvoudige en meervoudige modulatie kunnen wij als volgt samenvatten. Het toevoegen van een of meer modulatietrappen, met het hiervoor noodige groote aantal modulatoren, is ongetwijfeld een complicatie. Daar weegt echter ruimschoots het voordeel tegen op, dat het aantal verschillende banddoorlatende

[11]) Toen toepassing van nog meer kanalen mogelijk en wenschelijk bleek, werden bij het Nederlandsche 12-kanalensysteem op dezelfde wijze nog acht kanalen tusschen 68 en 100 kper/sec gevormd.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

filters — en, bij een veelvoud van 12 kanalen, ook het benoodigde aantal verschillende draaggolven — aanmerkelijk wordt gereduceerd. In het bijzonder is het van belang dat bij de beschreven modulatiemethode, zoowel voor 12 als voor 48 kanalen, het voornaamste filter, het kanaalbandfilter, voor alle kanalen identiek is en bij niet zeer hooge frequenties ligt. Dat ook in de fabricage het gebruik van een dergelijk universeel kanaalbandfilter een aantrekkelijke oplossing is, kan worden afgemeten aan het feit, dat de kanaalbandfilters bij een draaggolftelefonie-systeem ongeveer 40% van het volume en van de kosten van de totale apparatuur uitmaken. Bovendien leidt het tot een aantrekkelijke constructieve opbouw van het systeem waarbij ca 80% van de apparatuur wordt ondergebracht in voor alle kanalen volkomen identieke eenheden. Hierop zullen wij in een volgend artikel terugkomen.

Voorkanaal bij hooge of bij lage frequentie?

Is aldus het alternatief: enkelvoudige of meervoudige modulatie, ten gunste van de laatste beslist, zoo valt er nog tusschen verschillende modulatiemethoden te kiezen. Wij willen hier kort op ingaan, waarbij wij ons voorloopig wederom bepalen tot een 12-kanalen-systeem.

Vasthoudende aan het principe van een universeel voorkanaal, dat het voordeel van een universeel hoofdbandfilter meebrengt, kan men het voorkanaal nog verschillend kiezen: men kan het boven de gewenschte frequentieband van 12-60 kper/sec der 12 kanalen leggen — een dergelijk systeem hebben wij hierboven beschreven — of beneden deze frequentieband, of eventueel er middenin. We beschouwen eerst het laatstgenoemde geval.

Kiezen we een primaire draaggolffrequentie van bijv. 24 kper/sec, zoodat het voorkanaal bij 24-28 kper/sec komt te liggen, dan moeten, om de 12 kanalen in de band van 12-60 kper/sec te brengen, de secundaire draaggolven de frequenties 40, 44, ..., 84 kper/sec bezitten. De ongewenschte zijbanden komen nu tusschen 64 en 112 kper/sec te liggen, d.i. juist buiten de frequentieband van de gewenschte groep. Men heeft hier dus, evenals bij het eerder beschreven systeem met een voorkanaal bij 60-64 kper/sec, het voordeel dat de twaalf ongewenschte zijbanden in hoofdzaak gezamenlijk door één groepbandfilter kunnen worden verwijderd. Toch heeft deze methode een groot bezwaar. De modulatoren worden wel zoodanig symmetrisch uitgevoerd, dat in beginsel noch het ingangssignaal noch de draaggolf aan de uitgang verschijnt [12]). Door onvermijdelijke geringe asymmetrieën doen zij dat echter toch in geringe mate. Dit beteekent, dat in de tweede modulatietrap ook het voorkanaal en de secundaire draaggolf een weinig „doorlekken". Ieder van de twaalf, bij 24-28 kper/sec gelegen, voorkanalen draagt hierdoor een hoorbare energie bij tot het kanaal dat bij de tweede modulatie de band 24-28 kper/sec als definitieve plaats krijgt. Er resulteert een hinderlijk overspreken van alle kanalen op het bewuste (vierde) kanaal. Men zou derhalve dit kanaal uit de groep van 12 weg moeten laten, hetgeen tot een ongaaf systeem leidt. Bovendien heeft het doorlekken van de secundaire draaggolven 40, 44, ..., 60 kper/sec het gevolg, dat men in het zevende tot twaalfde kanaal moeilijkheden ondervindt indien men voor het signaleeren (overbrengen van kiessignalen en derg.) de methode der zg. draaggolfsignaleering wil toepassen [13]).

De mogelijkheid van een voorkanaal midden in de groep kan derhalve buiten beschouwing worden gelaten.

We beschouwen nu de keuze van een voorkanaal bij lage frequenties. Een 12-kanalensysteem met een dergelijke modulatiemethode is inderdaad ingevoerd in Duitschland [14]), waarbij de primaire draaggolf bij 8 kper/sec gelegd is en het universeele voorkanaal tusschen 4 en 8 kper/sec ligt (*fig. 8*). Bij dit systeem zijn in de tweede modulatietrap de gewenschte en de ongewenschte zijband van elk kanaal slechts door een afstand van

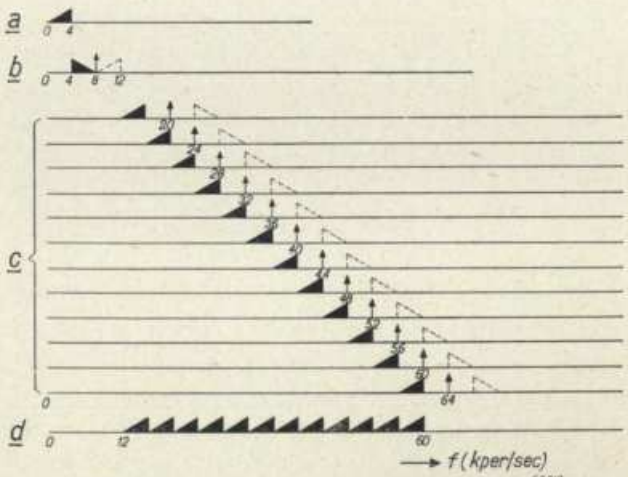


Fig. 8. Modulatieschema van een in Duitschland ingevoerd 12-kanalen-systeem. Wederom dubbele modulatie, maar met een universeel voorkanaal gelegen bij 4-8 kper/sec, dus beneden de definitieve groep (van 12-60 kper/sec).

[12]) Zie bijv. het in noot [9]) aangehaalde artikel.

[13]) Zie F. A. de Groot, De signaleering bij draaggolftelefonie, Philips techn. T. **8**, 168-176, Juni 1946.

[14]) D. Thierbach en A. Schmid, Ein Zwölf-Kanal-Trägerfrequenzsystem für unbelastete Kabelleitungen, E. T. Z. **60**, 761-768, 1939.
H. Düll, Das deutsche Zwölfband-Trägerfrequenzsystem, Europ. Fernsprechdienst **51**, 43-49, 1939.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

8 kper/sec gescheiden. De meeste ongewenschte zijbanden, benevens eenige andere modulatieproducten, die niet in fig. 8 zijn aangegeven, liggen dus binnen de gewenschte frequentieband van de groep, zoodat het filteren in de tweede modulatietrap niet in hoofdzaak met één groepbandfilter kan worden bewerkstelligd, doch per kanaal een tweede, allerminst te verwaarloozen filter noodig is.

Dit is een belangrijk nadeel, vergeleken bij het eerder beschreven geval van een voorkanaal met hooge frequentie. Anderzijds echter heeft het systeem met een laag voorkanaal het voordeel, dat een universeel kanaalbandfilter voor 4-8 kper/sec aanmerkelijk eenvoudiger te realiseeren is dan voor 60-64 kper/sec. Dit feit, dat toe te schrijven is aan de verliezen in de gebezigde spoelen en condensatoren en aan de schommelingen in hun zelfinductie- resp. capaciteitswaarden, hebben wij hierboven reeds leeren kennen als een der redenen voor het overgaan tot meervoudige modulatie.

Dat een bandfilter bij 60-64 kper/sec aanmerkelijk moeilijker te realiseeren is dan bij 4-8 kper/sec, met dezelfde toleranties, beschouwen wij als een incidenteel argument tegen de keuze van een hoog gelegen voorkanaal. Incidenteel, immers de genoemde moeilijkheid wortelt in imperfecties van de gebezigde onderdeelen. Deze imperfecties zullen bij de voortschrijdende technische ontwikkeling allengs verminderen en aldus aan belang inboeten in vergelijking met argumenten van principieele aard.

Dat echter het filteren in de tweede modulatietrap bij een hoog gelegen voorkanaal aanmerkelijk eenvoudiger wordt, beschouwen wij als een principieel voordeel van deze methode.

Deze overweging heeft reeds bij de keuze van het boven geschetste eerste Nederlandsche draaggolfsysteem er toe geleid, tot de methode met een hoog voorkanaal te besluiten.

De ontwikkeling der laatste jaren heeft inmiddels reeds de juistheid van deze overweging aangetoond. Bij het ontwerpen van het nieuwe draaggolfsysteem kon worden beschikt over een nieuw magnetisch materiaal, het „Ferroxcube" (zie het in noot [2]) aangehaalde artikel), waarmee spoelen met aanmerkelijk betere eigenschappen dan met de oude materialen kunnen worden vervaardigd. Hierdoor bood de verwezenlijking van het bandfilter bij 60 kper/sec geen essentieele moeilijkheden meer. Tevens heeft men met dit materiaal nog een kwaliteitsreserve, waardoor ook aan de allengs scherper wordende eischen van overdracht zal kunnen worden voldaan. We willen hier thans nog wat nader op ingaan.

Verwezenlijking van het hoofdbandfilter

De verliezen van spoelen worden gewoonlijk uitgedrukt in de kwaliteit $Q = \omega L/R$, waarin L de zelfinductie, R de serieweerstand van de spoel en ω de cirkelfrequentie voorstelt. Veelal is de grootheid Q in een relatief breed frequentiegebied vrijwel constant. Beschouwt men echter de afronding die tengevolge van de verliezen optreedt in de frequentiekarakteristiek van een reeks filters met constante breedte van het doorlatingsgebied (dus met kleinere relatieve breedte naarmate het doorlatingsgebied bij hoogere frequenties ligt), dan blijkt niet de kwaliteit Q bepalend te zijn doch de verliesmaat $\varrho = R/L = \omega/Q$. Hierdoor wordt, bij een gegeven spoelkwaliteit, de afronding bij filters voor hoogere frequentie steeds hinderlijker.

Een berekening over de afronding van de karakteristiek van het hoofdbandfilter leidde tot de wensch, spoelen te verkrijgen met een verliesmaat van ten hoogste $R/L = 750\ \Omega/\mathrm{H}$, hetgeen bij 8 kper/sec neerkomt op een spoel met $Q = 67$, bij 60 kper/sec op een spoel met $Q = 500$. Als vergelijking diene, dat in het vroeger in dit tijdschrift beschreven 17-kanalen-systeem (vgl. noot [10])) spoelen werden gebezigd die een Q van ca 220 vertoonen, terwijl inmiddels elders poederkernmaterialen in gebruik zijn genomen waarmede een Q van 300-350 bereikt wordt.

Het is goed zich te realiseeren, dat bij een verder verminderen van de verliesmaat, dus verbetering van de kwaliteit Q, de afronding van de dempingskarakteristiek niet onbeperkt afneemt. Zelfs voor ideale spoelen en condensatoren vindt nl. nog steeds een afronding plaats, die te wijten is aan het feit, dat een bandfilter nimmer exact kan worden afgesloten met de golfweerstand. Deze golfweerstand of karakteristieke impedantie immers loopt bij de grensfrequenties van de filters naar nul of naar oneindig [15]). Wordt het filter met een constante weerstand afgesloten, zooals in de practijk het geval is, dan treden bij frequenties aan de randen van het doorlaatgebied reflectieverliezen op, die een afronding in de dempingskromme tengevolge hebben. Dit is dus de minimale afronding, die bij spoelen en condensatoren met oneindige Q zou worden verkregen. Dit brengt met zich mede dat een steeds verder verminderen van de verliesmaat allengs minder en minder resultaat oplevert. Daalt R/L

[15]) Zie bijv. Balth. van der Pol en Th. J. Weyers, Electrische filters II, Philips techn. T. I, 270-276, 1936, speciaal p. 274. — Door het gebruik van zg. m-secties kan het frequentiegebied waarin de filterimpedantie nagenoeg constant is, weliswaar worden verbreed, doch ook hier loopt de impedantie aan de randen van het doorlaatgebied van het filter ten slotte naar nul of oneindig.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van 1500 tot 750, dan vermindert de afronding merkbaar, daalt zij verder tot 500 of 400, dan is nog een vooruitgang waar te nemen, doch daarbeneden sorteert een verdere verbetering van R/L nauwelijks meer effect in de afronding.

Zooals reeds vermeld, was voor de ontwikkeling van het hoofdbandfilter de wenschelijkheid van een waarde $R/L = 750$ vastgesteld, d.i. $Q = 500$ indien het filter zijn doorlaatgebied bij 60 kper/sec moet filter bij 60 kper/sec) en een volume van 44 cm³. Op de vèrstrekkende consequenties, die een dergelijke verkleining voor de constructieve opbouw van het systeem met zich mede brengt, hopen wij in een volgend artikel terug te komen. In *fig. 9* is de dempingskarakteristiek van het met deze spoelen ($Q = 570$) geconstrueerde hoofdbandfilter weergegeven. Ter vergelijking is ook de, veel sterker afgeronde, karakteristiek geteekend die

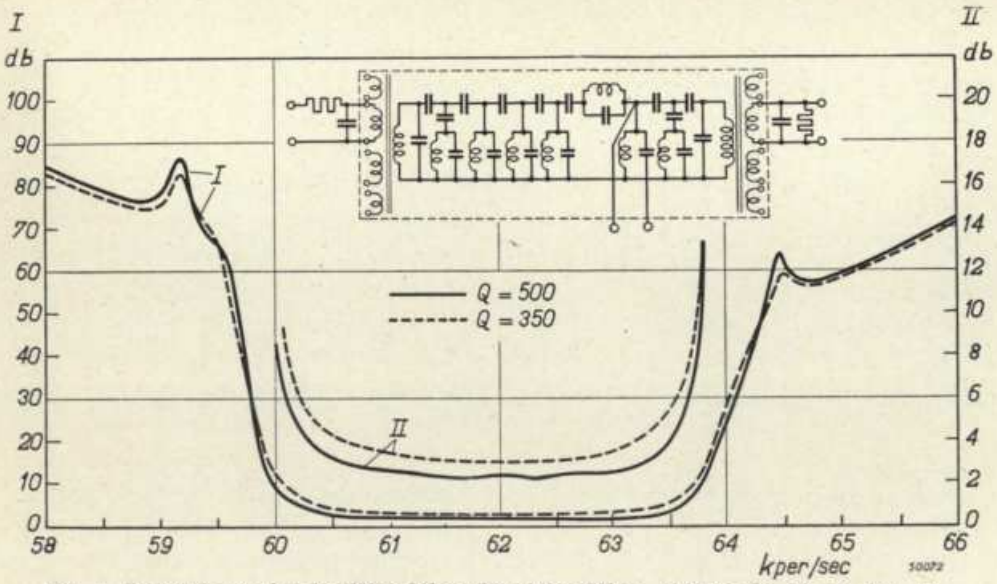


Fig. 9. Demping van het hoofdbandfilter (kanaalbandfilter, *KBF* in fig. 6) van het 48-kanalen-systeem als functie van de frequentie, bij toepassing van spoelen met „Ferroxcube"-kern waarbij $Q = 500$ (getrokken kromme). De gestippelde kromme geeft de veel sterker afgeronde frequentiekarakteristiek weer die men met een spoelkwaliteit $Q = 350$ zou verkrijgen. Om de afrondingen goed te kunnen vergelijken, is van beide krommen het gedeelte in het doorlatingsgebied ook nog op grootere schaal geteekend (zie de schaal op de ordinaat rechts). De schakeling van het filter is in de inzet aangegeven; de klemmen halverwege het filter dienen voor het toevoeren van de draaggolf in geval men draaggolfsignaleering toepast.

hebben. Deze eisch moet nog in zooverre worden gepreciseerd. dat daarbij bedoeld was de spoel geen grooter volume te geven dan de vroeger gebezigde spoelen hadden (210 cm³). Een eenvoudige berekening leert nl. dat bij een gegeven magnetisch spoelkernmateriaal de kwaliteit van een spoel (bij geschikte dimensionneering van het magnetische circuit) evenredig is met de lineaire afmetingen van de spoel; men zou dus in principe ook met een minder goed magnetisch materiaal de gewenschte spoelkwaliteit kunnen verkrijgen, indien men de spoelen maar zeer groot maakt — hetgeen echter uit constructief oogpunt ontoelaatbaar is. Door „Ferroxcube" als kernmateriaal te gebruiken bleek nu in het genoemde volume een spoelkwaliteit te worden verkregen die de oorspronkelijke eisch nog met een factor 1,7 overtrof. Dit surplus kon worden gebruikt om het volume van de spoel een factor 5 te verkleinen. Hieruit ontstond tenslotte een spoel met een verliesmaat van 750-630 ($Q = 500$-600, voor een men met een kwaliteit Q van 350 bij deze frequenties verkrijgt.

Aangezien het „Ferroxcube" ook wat betreft de temperatuurcoëfficient en de stabiliteit aan de eischen bleek te voldoen, was hiermede een zeer belangrijke bouwsteen van het nieuwe systeem verkregen.

Het samenstel der drie modulatietrappen

Overzien wij nu de beschreven modulatiemethode van het 48-kanalen-systeem nog eens in haar geheel, dan constateeren wij, dat zij als een logische uitbreiding kan worden beschouwd van de modulatiemethode van het oorspronkelijk in Nederland ingevoerde 12-kanalen-systeem. Bij dit laatste werd de „groep" van 12 kanalen, in haar definitieve frequentieband, verkregen via een universeel voorkanaal (60-64 kper/sec) dat in de frequentieband gelegen is boven de tenslotte gewenschte groep. Bij het 48-kanalen-systeem wordt de „supergroep"

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

van vier groepen, in haar definitieve frequentieband, verkregen via een universeele voorgroep (252-300 kper/sec) die in de frequentieband gelegen is boven de tenslotte gewenschte supergroep. Wij hebben hierboven reeds gezien dat hierdoor bij de derde modulatie analoge voordeelen worden verkregen als in het 12-kanalen-systeem bij de tweede modulatie: analoog aan het universeele kanaalbandfilter hebben we nu een universeel groepbandfilter, en waar het groepbandfilter eenvoudig werd dank zij de groote frequentie-afstand der te onderdrukken zijbanden, geldt nu hetzelfde voor het supergroepbandfilter.

Er dient op gewezen te worden, dat bij toevoegen van de derde modulatietrap feitelijk de keuze van de frequentie van het voorkanaal opnieuw onder de oogen moest worden gezien. We hebben immers uiteengezet, dat het essentieele voordeel: een eenvoudig groepbandfilter, ook reeds met een voorkanaal bij lagere frequenties dan 60-64 kper/sec kan worden verkregen (we noemden als voorbeeld 24-28 kper/sec), maar dat dit wegens het doorlekken van het voorkanaal en een aantal draaggolven in de tweede modulatietrap bezwaarlijk was. Heeft men een derde modulatietrap, dan heeft het doorlekken van het voorkanaal niets meer te beteekenen; immers dit wordt dan tezamen met de ongewenschte modulatieproducten van de tweede modulatie gemakkelijk onderdrukt, zooals men in fig. 4 direct ziet. Het bezwaar van het doorlekken der draaggolven blijft echter bestaan: zou men het voorkanaal bijv. bij 24-28 kper/sec leggen, dan zouden voor het verkrijgen van de voorgroep bij 252-300 kper/sec de secundaire draaggolven 228, 232, ..., 272 kper/sec moeten worden gekozen, die ten deele binnen de voorgroep vallen en dus bij de derde modulatie mede naar de definitieve kanalen worden overgebracht.

Bij de nadere keuze van de frequentieband voor de voorgroep, die wij bij 252-300 kper/sec hebben gelegd, spelen verschillende overwegingen een rol. Dank zij de gemaakte keuze past de voorgroep wat de frequenties betreft in het schema van de C.C.I.F.-normalisatie [16]). Verder worden de tertiaire draaggolven veelvouden van 24 kper/sec, hetgeen van belang is voor het ontwerp van de draaggolfvoeding. Voor de tertiaire draaggolven werden de frequenties 240, 360, 408 en 456 kper/sec gekozen, teneinde de groepen in de door het C.C.I.F. aanbevolen zijbandligging te brengen.

De demodulatie [17])

Aan de ontvangzijde wordt in drie demodulatietrappen volkomen de omgekeerde weg als aan de zendzijde bewandeld. De supergroep wordt aan vier demodulatoren toegevoerd. Door elk van deze demodulatoren te bedrijven met één der tertiaire draaggolven 240, 360, 408 en 456 kper/sec, komt in iedere demodulator juist één van de groepen in de band 252-300 kper/sec. Deze wordt met behulp van het universeele groepbandfilter uitgezeefd. In de tweede demodulatortrap wordt elke groep aan 12 demodulatoren toegevoerd, waarvan elk met één der 12 secundaire draaggolven 192, 196, ..., 236 kper/sec wordt bedreven. Hierdoor komt in iedere demodulator juist één van de kanalen in de band 60-64 kper/sec. Deze wordt met behulp van het universeele kanaalbandfilter uitgezeefd. In de derde demodulatietrap tenslotte wordt voor elk kanaal de band 60-64 kper/sec met behulp van de primaire draaggolf 60 kper/sec weer in de oorspronkelijke laagfrequente band omgezet.

Tot slot zij opgemerkt, dat het hier beschreven modulatiesysteem op ongedwongen wijze kan worden uitgebreid tot een systeem met verscheidene supergroepen, zooals bij de overdracht van eenige honderden kanalen via een coaxiaal circuit gewenscht is. Men vormt dan uit telkens vijf voorgroepen een universeele voor-supergroep, en brengt elke voor-supergroep door middel van een vierde modulatietrap naar de gewenschte definitieve frequentieband. Door de voor-supergroep te leggen bij frequenties hooger dan de over te brengen band, verkrijgt men bij de vierde modulatie wederom het voordeel van een gemakkelijke verwijdering der ongewenschte modulatieproducten, terwijl bij deze uitbreiding ook het essentieele voordeel van het systeem — de zooveel mogelijk uniforme behandeling van alle kanalen — behouden blijft.

---

[16]) De voorgroep valt wat de frequentie betreft samen met één van de groepen in de C.C.I.F.-normalisatie, en de voorgroep ligt juist beneden de tweede supergroep (312-552 kper/sec) volgens deze normalisatie; zie hierboven pag 165.

[17]) De bewerking, die wij demodulatie noemen, is volkomen identiek met modulatie. Weliswaar is men in het algemeen geneigd te meenen, dat bij het moduleeren een frequentiespectrum van lage naar hooge frequenties wordt getransponeerd, en bij het demoduleeren omgekeerd; of men zal wellicht aannemen dat bij het moduleeren de draaggolf een hoogere frequentie dan de te moduleeren band heeft en bij het demoduleeren omgekeerd. Bij meervoudige modulatie behoeft echter geen van deze beide kenmerken aanwezig te zijn, zooals men het duidelijkste ziet bij de tertiaire draaggolf van 240 kper/sec in de hier beschreven modulatiemethode. Toch heeft het zin over „demoduleeren" te spreken, waarmee dan eenvoudig tot uitdrukking wordt gebracht, dat men de ontvangzijde bedoelt.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN VERBETERDE METHODE VOOR HET KOELEN VAN ZENDBUIZEN MET LUCHT

door H. de BREY en H. RINIA.

621.396.694.032.42

Aangegeven wordt een methode, welke het in principe mogelijk maakt, alle zendbuizen die thans met water worden gekoeld, met lucht te koelen. Het inzicht dat voor een effectieve koeling het parallelschakelen van een groot aantal korte luchtwegen noodzakelijk is, heeft geleid tot een systeem waarbij de aangevoerde lucht wordt verdeeld in een aantal luchtstroomen die elk afzonderlijk een bepaalde zône (van geringe lengte) der koelribben bestrijken. Bij een eenmaal gekozen dimensionneering der koelribben, bij een gegeven maximale anodetemperatuur en bij een gegeven verhouding van het ventilatorvermogen tot het af te voeren vermogen is de maximale specifieke anodebelasting bepaald (d.i. de dissipatie per cm² anode-oppervlak); thans in bedrijf zijnde buizen werken reeds met een specifieke anodebelasting van meer dan 60 W/cm². In principe kan men onbeperkt groote totale vermogens afvoeren. Desondanks kan de koeler zoo klein worden gehouden dat ook voor groote vermogens de anodecapaciteit en het gewicht belangrijk minder zijn dan bij andere koelsystemen met lucht het geval is. Beschreven wordt een luchtverdeeler, die de aangevoerde lucht over de koelzônes verdeelt, en een bijzonder gunstige en eenvoudig te vervaardigen vorm der koelribben.

In een zendbuis komt bij het omzetten van gelijkstroomenergie in hoogfrequente wisselstroomenergie aan de anode warmte vrij. Een kleinere hoeveelheid warmte wordt in de gloeidraad en de roosters ontwikkeld. Naarmate het vermogen waarvoor men de buizen construeerde, grooter werd, steeg ook deze verlieswarmte; zoo moest men meer en meer rekening houden met de vraag, hoe deze warmte het beste kan worden afgevoerd. Een belangrijke stap was, bij vermogens boven een bepaalde grens, het verlaten van de constructie waarbij een glazen ballon het electrodensysteem geheel omgeeft, om over te gaan op die met een uitwendige anode, die een groot gedeelte van de buiswand vormt en door water wordt gekoeld. Dit is tot op heden de gebruikelijke constructie voor zendbuizen met een totale dissipatie grooter dan 4 à 10 kW.

Er zijn echter aan deze koeling met water bezwaren verbonden. De anode, die moet worden gekoeld, bevindt zich meestal op een hooge spanning, bijv. 20 kV; het koelwater daarentegen komt op aardpotentiaal uit de kraan. Men heeft dus een isoleerende slang noodig om het water aan de anode toe te voeren. Langs deze koelwaterleiding is een spanningsgradient van niet meer dan 1 kV/m toelaatbaar, zoodat de genoemde slang vrij lang moet zijn. Ook beschikt men in zendinstallaties dikwijls niet over koelwater van voldoende zuiverheid.

Het zoeken naar een koelmethode met lucht in plaats van water houdt dan ook reeds lang veler gedachten bezig. Al voordat de uitwendige anode met koeling door water in zwang kwam, werden soms glazen zendbuizen met behulp van een ventilator gekoeld. Veel effectiever is de destijds in dit tijdschrift beschreven koeler voor de zendbuis PA 12/15 [1] [2], die oorspronkelijk voor koeling met water ontworpen was. De bedoelde koeler bestaat uit een cylinder van koper of aluminium, waarin de eveneens cylindrische anode gesoldeerd wordt; de cylinder is voorzien van een aantal ribben, ongeveer even lang als de anode zelf. Een ventilator blaast lucht van beneden naar boven door de spleten tusschen de koelribben. Op deze wijze kan een hoeveelheid warmte overeenkomend met ca 10 kW verlies in de zendbuis worden afgevoerd.

Gaat men na, of dit koelsysteem met lucht ook voor grootere vermogens kan worden uitgevoerd, dan stuit men op verschillende bezwaren. Deze hangen samen met het feit dat men bij grootere vermogens de anode langer moet maken, zoodat bij het beschreven koelsysteem de luchtweg ook langer wordt. Op haar weg door de spleten stijgt de lucht in temperatuur; zij koelt daardoor de ribben aan het einde minder dan aan het begin, zoodat er in axiale richting een aanmerkelijke temperatuurgradient in de anode optreedt. Dit is ongunstig, daar het immers op de hoogste in de anode voorkomende temperatuur aankomt. Een tweede nadeelig gevolg van de groote lengte van de luchtweg is dat men de spleten vrij wijd moet maken; anders zou namelijk de weerstand voor de luchtstroom groot worden, dus de ventilator een vrij hooge druk

---

[1] M. van de Beek, Luchtgekoelde zendbuizen, Philips techn. T. 4, 129-135, 1939.

[2] In de typenummers der Philips-zendbuizen beteekent het getal vóór de breukstreep de maximale anodegelijkspanning in kV, het getal achter de breukstreep het afgegeven hoogfrequente vermogen (afgerond) in kW (bij kleine buizen in W), bij instelling volgens klasse C.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

moeten leveren. Men moet hier echter een compromis sluiten, want het wijder maken van de spleten gaat, bij een gegeven anode-omtrek, ten koste van òf de dikte, òf het aantal der ribben. Het eerste is ongunstig voor de warmtegeleiding door de ribben; het tweede beteekent een verkleining van het afkoelende oppervlak, waarvoor men compensatie moet vinden door de ribben in radiale richting breeder te maken — een maatregel die het optreden van een aanzienlijk temperatuurverval in deze richting in de hand werkt. Men komt zoo voor groote vermogens steeds tot koelers van onevenredig groote omvang, die niet alleen zwaar zijn, maar ook in electrisch opzicht ongunstig, vooral bij korte golven, daar de anodecapaciteit een ongewenscht groote waarde aanneemt.

Het nieuwe koelsysteem

Een koelsysteem dat de opgesomde nadeelen niet heeft en dat dus, in tegenstelling tot de oudere methoden, ook voor zendbuizen met zeer groot vermogen kan worden toegepast, is verwezenlijkt in de hierna te beschrijven constructie. Het principe van dit systeem is door wijlen Dr. P. H. Clay aangegeven met een geheel andere toepassing voor oogen, nl. voor de verhitters van heeteluchtmotoren. Het principe is echter voor toepassingen op allerlei gebieden bruikbaar.

In plaats van de luchtstroom eenvoudig langs de anoderibben in haar geheele lengte te voeren, splitsen wij hem tevoren in een aantal luchtstroomen die elk slechts een bepaalde zône van de anode koelen. Hoe deze luchtverdeeling tot stand komt, zal in de volgende paragraaf blijken. Wegens de geringe lengte van deze „parallelgeschakelde" luchtwegen kunnen wij nu, zonder te vervallen in de noodzaak van een te hooge ventilatordruk, de spleten nauw maken en het aantal er van dus groot. Een voldoend groot afkoelend oppervlak wordt dan reeds bereikt met in radiale richting smalle ribben; de koeler wordt dus weinig omvangrijk. Op deze wijze vermijdt men ook nadeelige temperatuurverschillen, zoowel in de anode, wegens de geringe lengte van elke koelzône, als in de ribben (radiaal), doordat de ribben smal zijn.

Met het nieuwe koelsysteem is men noch in de afmetingen der anode, noch in het totale af te voeren vermogen beperkt; voor een lange anode heeft men eenvoudig meer koelzônes noodig dan voor een korte. Bij een gegeven verhouding van het ventilatorvermogen tot het af te voeren vermogen, en bij de maximaal toelaatbare anodetemperatuur, hangt de specifieke anodebelasting (d.i. het af te voeren vermogen gedeeld door het gekoelde anode-oppervlak) slechts af van de dimensionneering der koelribben.

Behalve door de genoemde splitsing van de aangevoerde luchtstroom is de nieuwe koelmethode gekenmerkt door een veel economischer gebruik van de lucht dan bij oudere koelmethoden het geval is. Bij deze laatste werden door de koeler vaak groote hoeveelheden lucht geblazen, die daarbij slechts weinig in temperatuur steeg. Men kan met veel minder lucht, en dus met een kleinere ventilator, volstaan, indien men de lucht in de koeler een temperatuur laat aannemen die van dezelfde orde is als de anodetemperatuur. Om dit te bereiken, zijn geheel andere afmetingen van ribben en spleten noodig dan tot dusverre gebruikelijk waren. Het komt hier in hooge mate op een juiste dimensionneering aan. Door de verhoudingen goed te kiezen, zijn wij er in geslaagd het luchtverbruik, dat bij de vroeger beschreven koeler ca 1,5 m^3 per kW en per minuut af te voeren vermogen, en bij andere uitvoeringen 2 à 3 $m^3/kW \cdot min$ bedraagt, terug te brengen tot 0,8 à 1 $m^3/kW \cdot min$. Daarbij zijn tevens de afmetingen en het gewicht van de koeler aanzienlijk gereduceerd.

Wij zullen nu achtereenvolgens bespreken: de vorm van de ribben en de constructie van de luchtverdeeler, waarin de luchtstroom over de koelzônes verdeeld wordt; een nieuwe uitvoering der koelribben; de kwestie, of men de ventilator beter kan laten blazen of zuigen; de vorm van het koelerhuis; en hoe de in de zendbuis opgezamelde warmte kan worden afgevoerd bij storing van het net.

De ribben en de luchtverdeeler

In principe heeft men de keus tusschen twee vormen van ribben: langsribben (*fig. 1a*), in

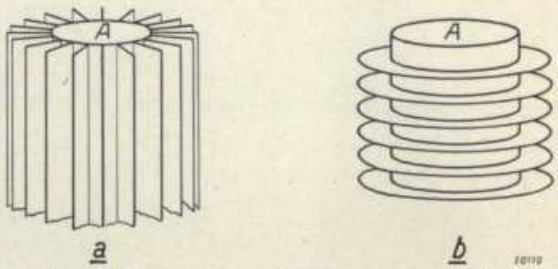


Fig. 1. Anode (*A*) van een zendbuis, voorzien van (*a*) langsribben, (*b*) dwarsribben. Eerstgenoemde verdienen de voorkeur.

vlakken door de as van de anode, en dwarsribben (fig. 1*b*), loodrecht op de as [3]). De *figuren 2a* en *b* laten zien, hoe bij elk dezer vormen luchtstroomen langs korte gedeelten der ribben geleid

[3]) Weinig practische oplossingen, zooals radiaal gerichte pennen of stukjes draad, die op het anode-oppervlak gesoldeerd zijn, laten we hier buiten beschouwing.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

kunnen worden door middel van schotten, welker vlakken loodrecht staan op de vlakken der ribben.

De luchtstroomen worden verkregen door een ventilator, die de lucht hetzij door de koeler blaast,

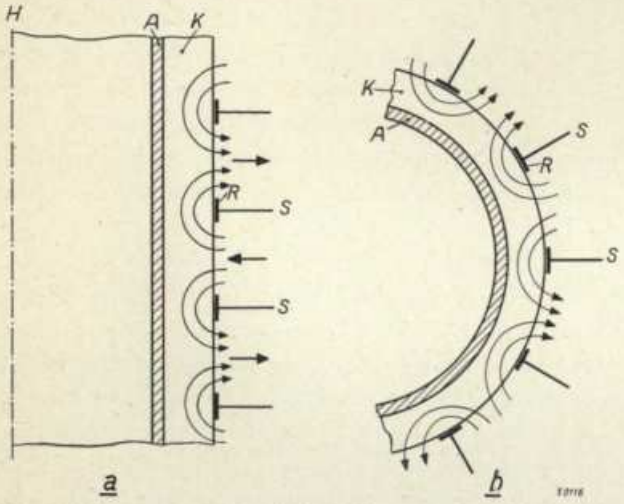


Fig. 2. Schotten verdeelen de koelribben in zônes, die elk door een afzonderlijke luchtstroom worden bestreken; *a*) geeft het geval van langsribben weer (doorsnede volgens een vlak door de as *H* van de anode, *b*) dat van dwarsribben (doorsnede loodrecht op de as). *A* is de anode, *K* zijn de koelribben, *S* de schotten, voorzien van een rand *R*, waardoor de luchtstroom beter verdeeld wordt. Pijlen geven de luchtstroom aan.

hetzij haar er door zuigt. Onderstellen wij dat dit laatste het geval is (wij zullen aanstonds zien dat een blazende ventilator bepaalde voordeelen heeft ten opzichte van een zuigende); hij levert dan één luchtstroom, die nog in de genoemde kleinere luchtstroomen moet worden verdeeld. Hoe de aansluiting van de ventilator op de in fig. 2 slechts zeer summier aangegeven luchtverdeeler kan geschieden, is te zien in *fig. 3* voor langsribben en in *fig. 4* voor dwarsribben.

Een duidelijk beeld van een luchtverdeeler voor langsribben — welke eenige voordeelen boven dwarsribben bezitten, zooals in de volgende paragraaf zal blijken — levert *fig. 5a*. De van langsribben voorziene anode is omsloten door opeengestapelde metalen doozen, die beurtelings van voren en van achteren open en op zij dicht zijn, dan wel voor en achter dicht en aan de zijkanten open. Zooals de pijlen aangeven, wordt de lucht van links en rechts aangevoerd en stroomt zij naar voren en naar achteren weg. De aankomende lucht kan alleen tusschen de ribben door naar de aangrenzende, hooger en lager gelegen compartimenten ontwijken. Ter verkrijging van een gelijkmatige anodetemperatuur moeten „doode hoeken" tusschen de koelribben vermeden worden, d.z. plaatsen die de lucht niet voldoende bereikt. Daartoe zijn de bodems der compartimenten voorzien van een opstaande rand (*R* in fig. 2*a*, *b* en fig. 5*a*, *b*, *c* en *d*). De gunstigste afmetingen van deze rand en ook die van de compartimenten zelf zijn bepaald aan de hand van modellen op vergroote schaal, waarbij de lucht was vervangen door stroomend water. Hierbij bleek dat men met de uitvoering volgens fig. 5*b*, die het eenvoudigst te vervaardigen is, kan volstaan, en dat de rand niet bijzonder nauw om de ribben behoeft te sluiten. In overeenstemming daarmee kan in de werkelijke uitvoering zooveel speling worden toegelaten dat men de zendbuis gemakkelijk in de luchtverdeeler kan schuiven, terwijl toch de luchtlek door deze speelruimte onbeteekenend is.

Iets gewijzigde vormen van luchtverdeelers komen later nog ter sprake.

Uitvoering der koelribben

Men zou deze luchtverdeeler kunnen toepassen bij een zendbuis, voorzien van grove koelribben,

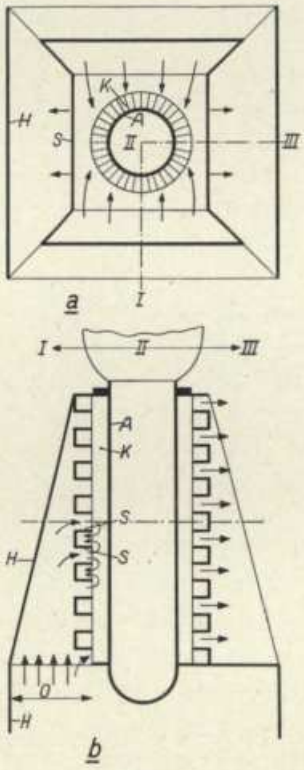


Fig. 3

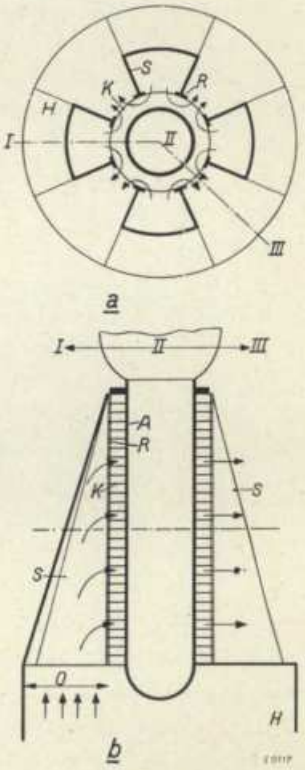


Fig. 4

Fig. 3. Zendbuis met langsribben en luchtverdeeler. *a*) is het bovenaanzicht op een dwarsdoorsnede te halver hoogte van de anode, in *b*) is de linkerhelft een doorsnede volgens het vlak dat in (*a*) met *I-II* is aangegeven, de rechterhelft een doorsnede volgens het vlak *II-III*. *A*, *K* en *S* hebben dezelfde beteekenis als in fig. 2. *H* is het koelerhuis, waardoor de lucht van onderen af wordt aangevoerd via de openingen *O*.

Fig. 4. Zendbuis met dwarsribben en luchtverdeeler. *a*) geeft het bovenaanzicht op een dwarsdoorsnede te halver hoogte van de anode, in *b*) zijn de linker- en de rechterhelft doorsneden volgens de vlakken die in (*a*) met resp. *I-II* en *II-III* zijn aangeduid. De letters hebben dezelfde beteekenis als in fig. 3.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

zooals deze in het in noot [1]) aangehaalde artikel werden beschreven. Dank zij het principe der afzonderlijke koelzônes ware dan al veel gewonnen. Een onderzoek in het Philips-Laboratorium heeft echter uitgewezen, dat nog belangrijk betere resultaten bereikbaar zijn door de spleten veel nauwer en de ribben grooter in aantal en dunner te kiezen. Men komt dan evenwel voor de vraag te staan, hoe tevoren op de in *fig. 6* aangegeven wijze geplooid, worden naast elkaar op de anode gesoldeerd, tot deze er over haar geheele lengte mee is bedekt. Om practische redenen gebruikt men niet één strook, even breed als de anode lang is, doch maakt men de strook slechts eenige cm (normaal 4 cm) breed en plaatst er een aantal van naast elkaar. De warmte-overdracht aan de lucht zou nog bevorderd kunnen

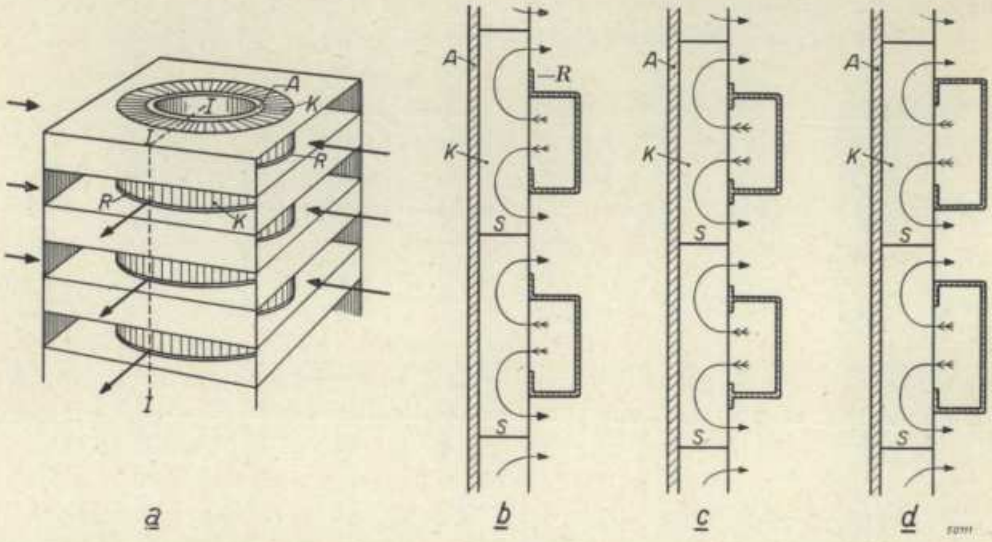


Fig. 5. *a*) Luchtverdeeler waarin de anode *A* met de langsribben *K* is geplaatst. De lucht wordt van links en rechts aan het 1ste, 3de, 5de, ... compartiment toegevoerd, stroomt tusschen de ribben door naar de tusschengelegen compartimenten en verlaat deze in voor- en achterwaartsche richting. *R* = opstaande rand ter geleiding van de verticale luchtstroom tusschen de ribben door.

b), *c*), *d*) Doorsnede van de luchtverdeeler en de anode volgens het vlak *I-I-I* (vgl. *a*). Hier zijn drie varianten afgebeeld volgens welke men de opstaande rand *R* zou kunnen uitvoeren. De eenvoudigste vorm, die volgens (*b*), blijkt goed te voldoen. De stootvoeg *S*, waar twee strooken aan elkaar grenzen, bevindt zich te halver hoogte van een afvoeropening en stoort daardoor de verticale luchtstroom niet.

men een anode met zulke fijne ribben kan vervaardigen. Hierbij komt ook de kwestie van het warmtecontact tusschen de anode en de koelribben naar voren. In dit opzicht moet men zich als ideaal stellen, anode en ribben uit één stuk koper te vervaardigen, maar het gieten zoowel als het freezen van een werkstuk met zulke fijne ribben is zeer bezwaarlijk. De ribben moeten dus aan de anode bevestigd worden. Soldeeren is hiervoor de aangewezen methode; met het oog op een goede warmtegeleiding gebruikt men als soldeer liever een zuiver metaal (bijv. tin of cadmium) dan een legeering.

Zooals gezegd, heeft men de keus tusschen twee vormen van ribben: langsribben en dwarsribben. Tegen deze laatste vorm kan o.a. het bezwaar worden aangevoerd dat bij temperatuurwisselingen de kans bestaat dat de ringvormige ribben op den duur los komen te zitten. Voor de langsribben geldt dit niet. Voor hun vervaardiging is een zeer eenvoudige oplossing gevonden: strooken koperband, worden door de ribben gegolfd uit te voeren of het oppervlak er van ruw te maken. De strook met de in fig. 6 aangegeven afmetingen kan in willekeurige

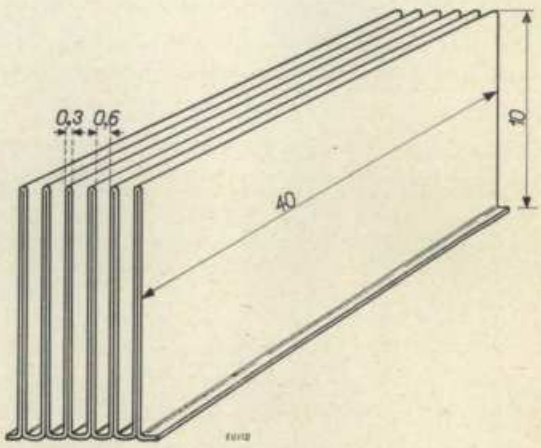


Fig. 6. Koperband van 0,15 mm dikte wordt gevouwen in de hierboven aangegeven vorm (maten in mm) en vervolgens op de anode gesoldeerd. Strooken als hier afgebeeld kunnen in willekeurige lengte vervaardigd worden.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

lengten vervaardigd worden; zij kan dus dienst doen voor anoden met verschillende diameters (de dwarsribben volgens fig. 1*b* daarentegen zou men in evenveel maten moeten maken als er anodediameters zijn). Het resultaat is te zien in *fig. 7*. De anode van de hier afgebeelde zendbuis TA 12/20 is voorzien van zeven strooken. Langs de omtrek der anode, waarvan de middellijn 60 mm is, is aldus plaats voor ca 210 ribben met 0,3 mm dikte, met spleten er tusschen, die binnenin 0,6 mm, aan de buitenzijde 0,9 mm breed zijn; de ribbreedte is 10 mm.

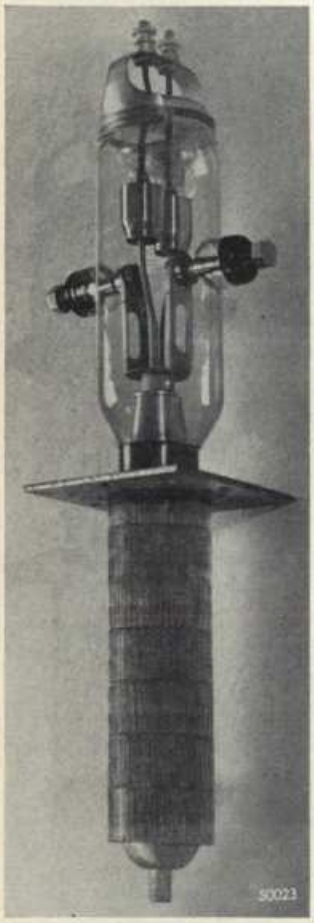


Fig. 7. Op de anode van deze zendbuis type TA 12/20 zijn zeven strooken van volgens fig. 6 gevouwen koperband gesoldeerd.

Waar twee strooken aan elkaar grenzen (zooals bij *S* in fig. 5*b*), liggen de ribben in het algemeen niet precies in elkaars verlengde. Zulk een stootvoeg zou de verticale luchtstroom kunnen belemmeren. Om dit te voorkomen, richt men het zoo in dat de voegen juist te halver hoogte van hetzij een toevoer-, hetzij een afvoeropening komen te liggen (in fig. 5*b*: een afvoeropening). Iedere strook vormt dus een zône die door een afzonderlijke luchtstroom wordt gekoeld.

Om een zoo gelijkmatig mogelijke temperatuurverdeeling over de anode te verkrijgen, is het zaak de lucht overal diep in de spleten te laten doordringen. Dit wordt bevorderd door een kleine ringvormige opening tusschen de naburige zônes open te laten, bijv. door de strooken niet aaneensluitend, doch op eenige afstand van elkaar op de anode aan te brengen. Voor gevallen met een zeer groote dissipatie per cm² oppervlak kan dit van nut zijn.

Met de in fig. 7 afgebeelde constructie kan 20 kW (d.i. 4800 cal/sec) worden afgevoerd, bij een maximale anodetemperatuur van 150 °C en een temperatuur van de intredende lucht van 25 °C, en bij een luchtverbruik van 20 m³/min. Deze luchtstroom vereischt een drukverschil aan de ventilator van ca 12-15 cm waterkolom en wordt geleverd door een ventilator waarvan de motor ca 1 kW opneemt (5% van het af te voeren vermogen).

Blazen of zuigen?

De vraag dient overwogen te worden, of men de ventilator moet laten blazen of zuigen; met andere woorden, of men hem het beste in de aanvoer- dan wel in de afvoerleiding kan plaatsen. Het eerste is te verkiezen, en wel op grond van de volgende overwegingen.

Welke der beide oplossingen men in een gegeven geval ook kiest, steeds moet aan de ingang van de luchtverdeeler per tijdseenheid een bepaald volume koude lucht binnenstroomen. Voor het in stand houden van deze luchtstroom moet de ventilator in beide gevallen eenzelfde drukverschil leveren. De twee oplossingen verschillen echter hierin dat zich bij „blazen" koude lucht, bij „zuigen" warme lucht in de ventilator bevindt. Dit laatste is om constructieve redenen minder gewenscht, zoodat alleen hierom al het plaatsen van de ventilator in de aanvoerleiding de voorkeur verdient.

Doch hiervoor is nog een argument te vinden. Het nuttige vermogen P dat de ventilator aan de lucht afgeeft, kan gesplitst worden in een potentieel en een kinetisch gedeelte:

$$P = pV + \tfrac{1}{2} Mv^2, \quad \ldots . \quad (1)$$

waarin p het drukverschil dat de ventilator opwekt, V het volume en M de massa van de per tijdseenheid passeerende luchthoeveelheid, en v de luchtsnelheid beteekenen. Voorzien wij de van de temperatuur afhankelijke grootheden van een index 0 resp. 1, als zij op de koude resp. warme lucht betrekking hebben, dan geldt voor „blazen":

$$P_0 = pV_0 + \tfrac{1}{2} Mv_0^2,$$

en voor „zuigen":

$$P_1 = pV_1 + \tfrac{1}{2} Mv_1^2.$$

Is T_0 de absolute temperatuur van de koude, T_1 die van de warme lucht, dan is $V_1 = V_0 T_1/T_0$ (het drukverschil p is klein ten opzichte van de atmosferische druk), en $v_1 = v_0 T_1/T_0$, zoodat blijkbaar $P_0 < P_1$. Door de ventilator te laten blazen kan men dus met een kleiner type en een kleiner energieverbruik volstaan dan wanneer men een zuigende ventilator zou toepassen.

Het koelerhuis

Het koelerhuis dient voor de aansluiting van de toevoer- en de afvoerleiding op de luchtverdeeler.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Bij plaatsing van de ventilator in de luchttoevoer kan een afvoerkanaal geheel vervallen, als men de warme lucht van de luchtverdeeler vrij laat uitstroomen. Als hierdoor de temperatuur van de ruimte waarin deze lucht uitstroomt, te hoog zou worden, moet men de warme lucht naar buiten afvoeren. Het systeem kan hier zonder veel moeite voor worden ingericht. Dit is evenwel alleen voor groote vermogens noodig.

De vorm en de materiaalkeuze van het koelerhuis worden in hoofdzaak door de volgende overwegingen bepaald:

1) de (electrische) anodecapaciteit moet zoo klein mogelijk blijven;
2) diëlectrische verliezen moeten worden vermeden;
3) waar het materiaal in aanraking met de luchtverdeeler is, moet het tegen temperaturen van 150 à 180 °C bestand zijn;
4) de ventilator moet geïsoleerd zijn van de anode.

Tegen algeheele uitvoering in isolatiemateriaal leveren de onder (2) en (3) genoemde punten bezwaren op, die alleen met behulp van keramische materialen te overwinnen zijn. Aangezien echter niet onmiddellijk over keramische onderdeelen van de gewenschte vorm en afmetingen kon worden beschikt, hebben wij aanvankelijk de oplossing gezocht in de richting van een metalen kast, die op de luchtverdeeler aansluit en door een isoleerende pijp met de ventilator is verbonden. Deze kast moet zoo klein mogelijk van afmetingen zijn, met het oog op de capaciteit.

Heeft men te doen met twee buizen in balansschakeling, dan houdt men de capaciteit tusschen de anoden het laagst door de luchtverdeeler in te richten voor eenzijdige luchttoevoer, en deze toevoer aan de van elkaar af gekeerde zijden van de koelers te doen geschieden. *Fig. 8* laat zien, hoe bij zulk een luchtverdeeler ringvormige kanalen de luchtstroomen rondom aan de bijbehoorende koelzônes toevoeren. Tusschen twee anoden, elk van zulk een koeler voorzien, en geplaatst op 40 cm hartafstand, bedraagt de capaciteit ca 20 pF, wat voor golven langer dan 10 m niet bezwaarlijk te achten is.

De zenderconstructeur kan tegen deze opstelling inbrengen dat de toevoerkanalen de toegang tot de zendbuizen en andere onderdeelen van de apparatuur belemmeren. Van zijn standpunt gezien, zou het ideaal zijn de lucht van onderen af aan te voeren. Bij de in fig. 3 en 4 geschetste uitvoeringsvormen was dit reeds het geval, doch de afmetingen van het koelerhuis, en dus ook de anodecapaciteit, zijn in deze gevallen vrij groot. Men kan hieraan eenigszins

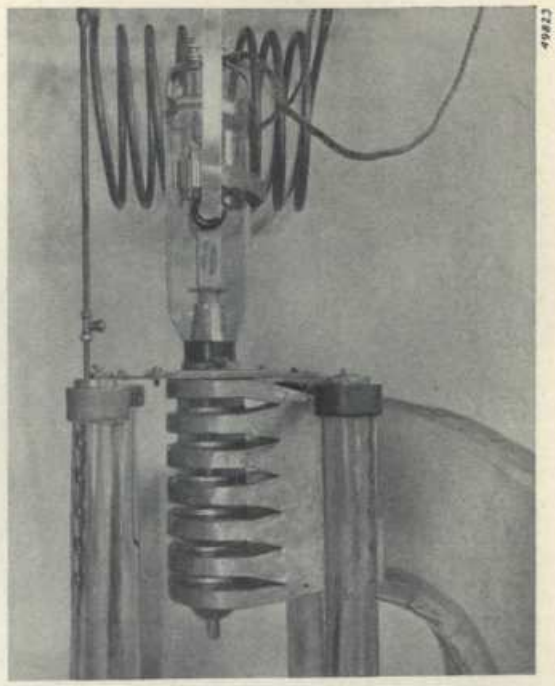


Fig. 8. Zendbuis TA 12/20 met een luchtverdeeler waaraan de lucht eenzijdig wordt toegevoerd, in plaats van tweezijdig, zooals in fig. 5*a* werd aangegeven. De warme lucht stroomt vrij af.

tegemoet komen door te werk te gaan als in *fig. 9* is aangegeven. De onderste helft van de anode bevindt zich hier binnen de luchtaanvoerbuis. Door de met *O* aangeduide openingen rondom de koelribben stroomt nu slechts half zooveel lucht als bij de constructie volgens fig. 3 en 4 het geval is; bij gevolg kan men in het geval van fig. 9 deze openingen kleiner maken zonder in een hoogere luchtweerstand

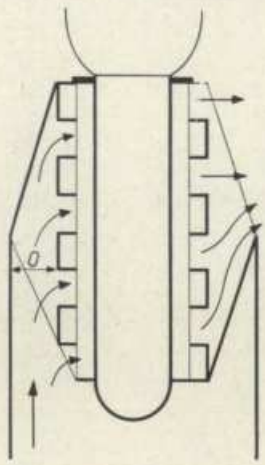


Fig. 9. De anode heeft men hier half in het koelerhuis laten zakken, zoodat door de openingen *O* slechts lucht stroomt, die de bovenste helft van de anode koelt. Men kan daardoor deze openingen, en dus ook de afmetingen van het koelerhuis, kleiner kiezen dan bij de constructies volgens fig. 3 of 4. Dit heeft een verlaging van de anodecapaciteit ten gevolge.

te vervallen, hetgeen resulteert in kleinere afmetingen van het koelerhuis, en dus in een kleinere anodecapaciteit.

In een verder uitgewerkte vorm vindt men deze constructie in *fig. 10*, waarin het koelerhuis ten deele uit keramisch materiaal bestaat. Door openingen in de kap stroomt de warme lucht vrij af.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

De luchtverdeeler bestaat uit opeengestapelde gietstukken van aluminium, die, om de luchtweerstand zoo laag mogelijk te houden, gestroomlijnd zijn.

In *fig. 11* is de vorm dezer gietstukken te zien. Hier is tevens een afzonderlijk afvoerkanaal aanwezig.

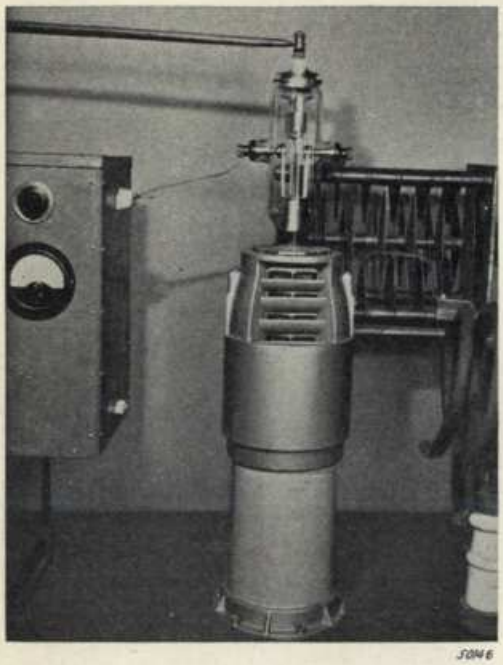


Fig. 10. Foto van een koeler met luchttoevoer van onderen. De warme lucht stroomt vrij af. Het onderste gedeelte van het koelerhuis bestaat uit keramisch materiaal.

Ten slotte zij nog vermeld dat het wenschelijk is de lucht, voor zij de ventilator binnengaat, door een filter te laten stroomen dat stof en insecten tegenhoudt.

Warmte-afvoer bij storing van het net

Indien een storing optreedt in het net, dat zoowel de zender als de ventilatormotor voedt, vallen de gloeistroom en de anodestroom van de zendbuis weg. In de gloeidraad en de roosters is evenwel nog een zekere hoeveelheid warmte opgezameld; de warmtecapaciteit van de anode en de koeler is bij de beschreven constructie zoo klein dat hierdoor de anodetemperatuur op ontoelaatbare wijze zou stijgen, indien ook de koellucht terstond uitbleef. Dank zij het traagheidsmoment van het ventilatorrad en de rotor blijft echter de ventilator nog eenige tijd na het wegvallen van de netspanning doorloopen, in de meeste gevallen lang genoeg om de genoemde oververhitting te voorkomen. Zoo noodig kan men nog een vliegwiel op de ventilatoras aanbrengen.

Toepassingen voor grootere vermogens

De boven gegeven afbeeldingen van het nieuwe koelsysteem hebben alle betrekking op de buis TA 12/20. De anode hiervan is, bij een dissipatie van 20 kW, belast met 45 W/cm². Het is zeer goed mogelijk, met dezelfde ribben tot 60 W/cm² te gaan,

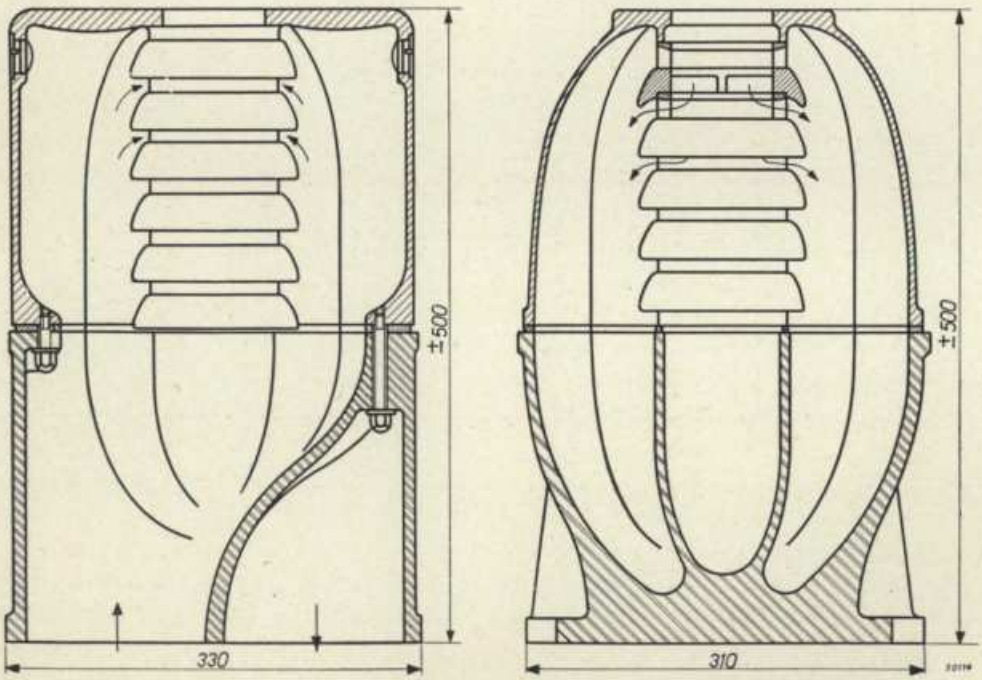


Fig. 11. Doorsneden van een koeler met een aanvoer- en een afvoerkanaal, die elk 1/4 winding van een schroeflijn beschrijven. De luchtverdeeler bestaat uit opeengestapelde gietstukken van aluminium, die gestroomlijnd zijn. Het koelerhuis bestaat gedeeltelijk uit keramisch materiaal. De hoofdafmetingen zijn aangegeven in mm.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

bij de nog alleszins toelaatbare anodetemperatuur van 180 °C en bij gebruik van een ventilator waarvan de motor niet meer dan bijv. 5% van het af te voeren vermogen opneemt. Deze temperatuur van 180 °C ligt voldoende ver beneden het smeltpunt van het als soldeer gebruikte tin (232 °C). Bij gebruik van een soldeer met een hooger smeltpunt (bijv. cadmium, 321 °C) zou men de anodetemperatuur nog wel hooger dan 180 °C mogen opvoeren.

Voor eenige grootere typen zendbuizen — die, evenals de TA 12/20, tot dusverre met water werden gekoeld — vinden we de volgende waarden der dissipatie en der specifieke anodebelasting:

Zendbuis type	Dissipatie kW	Specifieke anodebelasting W/cm²
TA 12/35	22,3	40
TA 18/100	77	45
TA 20/250	145	85

Uit de waarden der specifieke anodebelasting blijkt dat de beschreven vorm van het nieuwe koelsysteem ongewijzigd voor de beide eerstgenoemde typen in dit lijstje kan worden gebezigd. Dit is echter niet het geval voor de TA 20/250, de grootste door Philips gefabriceerde zendbuis. Door het oppervlak der ribben te vergrooten, de spleten nauwer te maken en de anode in een grooter aantal smallere koelzônes te verdeelen, ontstaat de mogelijkheid, ook bij deze buis de koeling met water — waarvan 130 l/min noodig is — te vervangen door koeling met lucht.

In *fig. 12* zijn eenige grafieken [4]) vereenigd die betrekking hebben op een bepaalde anode, gekoeld op de in fig. 8 aangegeven wijze, met een maximale temperatuur van 180 °C. De bedoelde anode is die van de buis TA 12/35; zij kan, gekoeld met water, 22 kW dissipeeren; gekoeld met lucht volgens het oude systeem (beschreven in het in noot [1]) aangehaalde artikel), 10 kW. Uit fig. 12 leest men af dat men dezelfde anode, gekoeld volgens de nieuwe methode, kan gebruiken voor een zendbuis die bijv. 40 kW dissipeert, mits men 31,5 m³ lucht per minuut toevoert. Hiervoor is een luchtdruk van 23 cm waterkolom vereischt. Benoodigd is een ventilator met een motor die ca 2,3 kW opneemt (6% van de dissipatie). Bij de genoemde dissipatie van 40 kW is de specifieke anodebelasting ca 70 W/cm².

Uit fig. 12 volgt tevens dat het geen zin heeft, te trachten bij constante anodetemperatuur de specifieke anodebelasting nog verder op te voeren door verhooging van de doorstroomende lucht-hoeveelheid V_0. Bij benadering is nl. het benoodigde

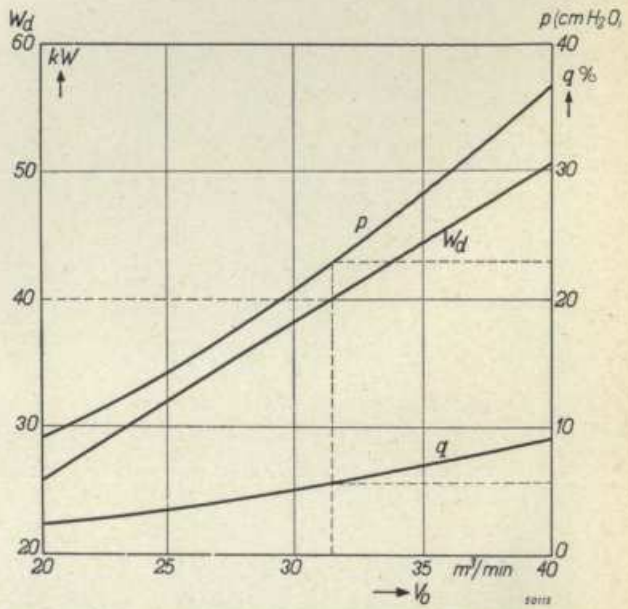


Fig. 12. Grafieken, geldig voor een anode als die van de zendbuis TA 12/35 met een maximale temperatuur van 180 °C. Als functie van de benoodigde hoeveelheid koude lucht V_0 in m³/min zijn uitgezet: de totale dissipatie W_d in kW, het benoodigde drukverschil p in cm waterkolom, en het door de ventilatormotor opgenomen vermogen in % (q) van de dissipatie.

drukverschil evenredig met V_0^2, het ventilatorvermogen met pV_0, dus met V_0^3; de dissipatie echter is evenredig met V_0. Het „relatieve ventilatorvermogen" (d.i. het ventilatorvermogen, gedeeld door de dissipatie) is dus evenredig met V_0^2; het neemt derhalve bij opvoering van de specifieke anodebelasting snel toe. De oplossing moet dan, zooals reeds werd vermeld voor het geval van de TA 20/250, worden gevonden door zoo noodig de afmetingen der ribben en spleten en de lengte der zônes anders te kiezen, en/of een hoogere anodetemperatuur toe te laten.

Tot slot zij nog opgemerkt dat de toepassing van het beschreven koelsysteem uiteraard niet tot zendbuizen beperkt behoeft te blijven. Het is bijv. reeds gebleken dat op deze wijze een zeer effectieve koeler voor het koelwater van verbrandingsmotoren (radiateur van een automobielmotor) kan worden geconstrueerd.

[4]) Deze grafieken zijn gebaseerd op metingen, verricht door J. C. van Warmerdam, die ook een belangrijk aandeel heeft gehad in de practische uitvoering der beschreven koelers.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

EEN NIEUW ELECTRONENMICROSCOOP VOOR 100 kV

In verband met de groote belangstelling, die sinds enkele jaren bestaat voor het electronenmicroscoop als laboratoriumhulpmiddel, is door Philips een nieuw instrument van dit soort ontwikkeld, dat men hier ziet afgebeeld. In dit toestel zijn de principes verwezenlijkt die kort geleden in een artikel in dit tijdschrift werden beschreven [1]): de vergrooting is continu regelbaar van 1000× tot 150 000×; de scherpstelling van het beeld is door een speciale methode zeer vergemakkelijkt; men kan met enkele handgrepen in plaats van de vergroote afbeelding van het object een electronen-diffractiediagram van het tevoren afgebeelde gedeelte op het scherm verkrijgen.

Op de weergegeven foto ziet men de microscooptubus schuin naar boven gericht boven op het toestel. Opvallend is het groote scherm, waarop het beeld zichtbaar wordt. Details van het beeld kunnen met een loupe (op de foto is deze opzij gedraaid) worden bekeken. Het beeld kan — op 4× gereduceerde schaal — fotografisch worden vastgelegd op 35 mm-film met behulp van een in de tubus gebouwde camera. De hoogspanning, die door een speciale schakeling is gestabiliseerd, wordt geleverd door de links op de foto zichtbare, in een afzonderlijk huis ondergebrachte generator, die door een flexibele kabel met het electronenmicroscoop is verbonden.

---

[1]) J. B. Le Poole, Een nieuw electronenmicroscoop met continu regelbare vergrooting, Philips techn. T. **9**, 33-46, Februari 1947.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

VERBETERINGEN IN DE CONSTRUCTIE VAN KATHODESTRAALBUIZEN

door J. de GIER en A. P. van ROOY. 621.385.832

Het gebruik van een platte glazen bodem met chroomijzeren doorvoerpennen is voor radiobuizen reeds lang bekend. Door deze ook bij een kathodestraalbuis toe te passen, heeft men ruimte beschikbaar gekregen, waardoor verbeteringen van electronenoptische aard konden worden ingevoerd, zonder dat de buisafmetingen behoefden te worden vergroot. Bovendien is een nieuwe bevestigingstechniek voor de electroden uitgewerkt, die een betere centreering waarborgt. Een en ander resulteert in een scherpere lichtvlek, vooral aan de rand van het scherm. De bedoelde verbeteringen zijn verwezenlijkt in een nieuwe oscillograafbuis, type DG 7-3, waarin ook een electrische afscherming is aangebracht, die voorkomt, dat de twee paren afbuigplaten elkaar bij hooge frequenties electrisch beïnvloeden.

In de constructie van kathodestraalbuizen voor het gebruik in een oscillograaf zijn de laatste jaren een aantal verbeteringen uitgewerkt, die hebben geleid tot een aanmerkelijk verhoogde beeldkwaliteit. Wij zullen deze verbeteringen bespreken aan de hand van een nieuwe buis (met in beide richtingen electrostatische afbuiging), waarin zij reeds zijn verwezenlijkt. In hoofdzaak betreft het verbeteringen van electronenoptische aard, die niet principieel nieuw zijn, maar welker invoering, indien men bij de oude constructiemethode was gebleven, een vergrooting van de buislengte noodzakelijk zou hebben gemaakt.

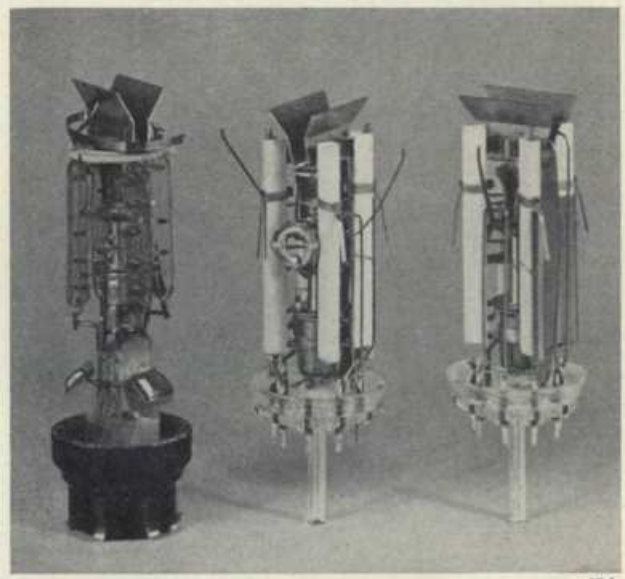
De verbeteringen, die wij nu achtereenvolgens bespreken, bestaan uit:

1) wijzigingen in de doorvoeringen en in de ballonvorm;
2) een nieuwe montagemethode;
3) uit (1) en (2) voortvloeiende electronenoptische verbeteringen;
4) een afscherming tusschen de platenparen.

Wijzigingen in de doorvoeringen en in de ballonvorm

Tot dusverre werd voor kathodestraalbuizen een zg. „kneep" gebruikt om de electrische verbindingen door het glas te voeren (*fig. 1a*). Het groote aantal doorvoeringen dat deze buizen vereischen (acht à negen), soms nog vermeerderd met een aantal steunpolen, waar de electroden aan bevestigd worden, heeft o.a. tot kruis- en ringvormige kneepconstructies geleid, die uit glastechnisch oogpunt weinig aantrekkelijk zijn. Bovendien is — ook bij eenvoudiger vormen, zooals fig. 1*a* er een laat zien — een lengte van eenige centimeter noodig tusschen de insmeltplaats en de kneep, om een te hooge temperatuur van deze laatste bij het insmelten te voorkomen. De aard dezer bewerking brengt daarenboven een aanzienlijke spreiding in deze lengte mee, zoodat verschillende exemplaren van eenzelfde buistype lengteverschillen kunnen vertoonen, waarmee de constructeur van de bijbehoorende apparaten rekening dient te houden.

Bezwaren van deze aard deden zich vroeger ook bij radio-ontvangbuizen voor. Zij zijn daar destijds opgelost door de kneepconstructie te vervangen door een platte bodem van geperst glas,



a *b* *c*

Fig. 1. *a*) Binnenwerk van een kathodestraalbuis (DG 7-1) met oude glastechniek: doorvoeringen in een „kneep", bevestiging der electroden door middel van glazen „parels".
b) en *c*) Binnenwerk van de nieuwe kathodestraalbuis (DG 7-3) met glastechnische verbeteringen. Doorvoeringen als bij radiobuizen van het „Sleutelbuis"-type: negen chroomijzeren pennen in een bodem van geperst glas, waarbij geen huls noodig is. Bevestiging der electroden in poederglas, gevat in keramische staafjes.

voorzien van een aantal (bijv. negen) chroomijzeren doorvoerpennen [1]). Fig. 1 *b-c* laat zien hoe op zulk een genormaliseerde glazen bodem het binnenwerk van een kathodestraalbuis kan worden gemonteerd. De winst in de lengterichting is bij vergelijking met fig. 1*a* reeds te zien, maar komt nog

[1]) Philips techn. T. **4**, 170-175, 1939 en **6**, 321-328, 1941.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

duidelijker tot uitdrukking in de doorsneden *fig. 2a* en *b*. Voor een deel is deze winst te danken aan het feit dat het uitwendige deel der doorvoerpennen tevens als contactpennen dienst doet. Een huls, zooals fig. 1*a* toont, komt dus geheel te vervallen, en daarmee ook de lengtevariatie die met het opkitten er van gepaard gaat. Ook het aansmelten van de glazen bodem aan de nauwkeurig op maat afgesneden ballon kan met een veel nauwere spreiding geschieden dan bij de oude methode mogelijk was.

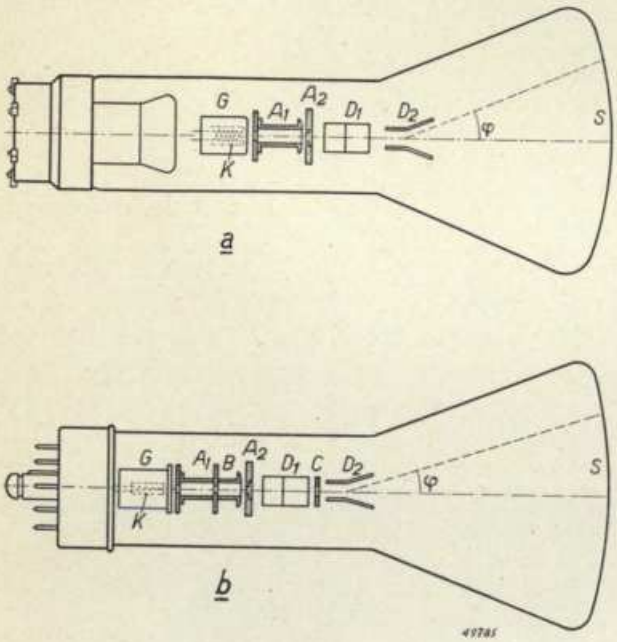


Fig. 2. Schetsmatige doorsnede van een kathodestraalbuis,
a) met een kneep (type DG 7-1),
b) met een bodem van geperst glas (type DG 7-3).
Het electronenkanon wordt in beide gevallen gevormd door de indirect verhitte kathode K, het stuurrooster G, de focusseeringsanode A_1 en de eindanode A_2. D_1 en D_2 zijn de platenparen voor afbuiging van de electronenbundel in twee onderling loodrechte richtingen. In *b*) is B een diafragma, C een gedeelte der electrische afscherming tusschen de platenparen. Door de overgang van de kneep op de platte bodem is ruimte gewonnen, die grootendeels is gebruikt om de afstand der deflectieplaten tot het scherm (S) te vergrooten. Men bereikt hierdoor dat de grootste afbuighoek φ van de bundel, voor een gegeven beeldformaat, kleiner wordt, wat verschillende voordeelen heeft.

De fig. 1 en 2 hebben beide betrekking op een oscillograafbuis met een schermmiddellijn van 7 cm, en wel fig. 1*a* en 2*a* op een buis type DG 7-1, de fig. 1*b* en *c* en 2*b* op een nieuwe buis [2]), type DG 7-3, waarvan *fig. 3* het uiterlijk laat zien. De besproken winst in de lengterichting bedraagt gemiddeld ca 30 mm op een totale lengte van ca 150 mm; hoe deze winst besteed is, komt in een volgende paragraaf ter sprake. De spreiding in de lengte is van 15 mm teruggebracht tot 6 mm; dit verschil komt geheel ten voordeele van den apparatenconstructeur.

In electrisch opzicht onderscheidt de platte bodem zich gunstig van de kneep met bijbehoorende huls door een kleinere capaciteit tusschen twee naburige doorvoerpennen resp. -draden. Hierop komen wij in de laatste paragraaf terug.

Over de vorm van de ballon van de buis DG 7-3 kan nog worden opgemerkt dat het gedeelte waarop aan de binnenzijde de fluoresceerende laag is aangebracht, vlakker is dan bij de oudere typen, terwijl het aan de rand met een kleinere kromtestraal in het conische gedeelte overgaat (vgl. fig. 2*a* en *b*). Hierdoor is de nuttige schermdiameter relatief groot, hetgeen van belang is in combinatie met de later te bespreken verbeterde puntscherpte aan de rand van het scherm.

Nieuwe montagemethode

Alvorens te spreken over de verbeteringen in de montage van het electrodensysteem brengen wij in herinnering dat dit laatste uit twee groepen van electroden bestaat. De electroden van de eene groep vormen tezamen het „kanon", dat een bundel electronen levert, welke door de electroden der andere groep, de al meer genoemde afbuigplaten, in twee onderling loodrechte richtingen kan worden afgebogen. Al deze electroden moeten onderling nauwkeurig gefixeerd zijn. Bij de montage worden daartoe de onderdeelen in de juiste volgorde op een centreerpen geregen, met de noodige afstandsstukjes er tusschen, waarna het geheel in een mal wordt vergrendeld. De electroden zijn voorzien van radiaal gerichte steunen, welke uitsteeksels nu op de een of andere wijze in stevige isolatoren moeten worden bevestigd.

Bij de oude methode bediende men zich van drie of vier zg. „parels", glazen staafjes, die men achtereenvolgens tot verweekens toe verhitte, om er dan de uitsteeksels der electroden in te drukken. Na afkoeling van de laatste parel konden de centreerpen en de afstandsstukjes worden verwijderd, waarna men een systeem overhield, zooals fig. 1*a* als voorbeeld laat zien. In de practijk blijkt het echter niet gemakkelijk te zijn, met deze „pareltechniek" steeds goede resultaten te krijgen. Bij iets te hooge verhitting van de parel vloeit het glas weg, bij iets te lage temperatuur hecht het zich niet goed aan de er in gedrukte metalen steundraden, welke dan na afkoeling los blijken te zitten of althans eenige speling vertoonen. Hierdoor is een zuivere centreering niet langer verzekerd, wat later bij het gebruik de puntscherpte ongunstig beïnvloedt.

[2]) Een beschrijving van een oscillograaf waarin deze buis wordt toegepast, zal binnenkort in dit tijdschrift verschijnen.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

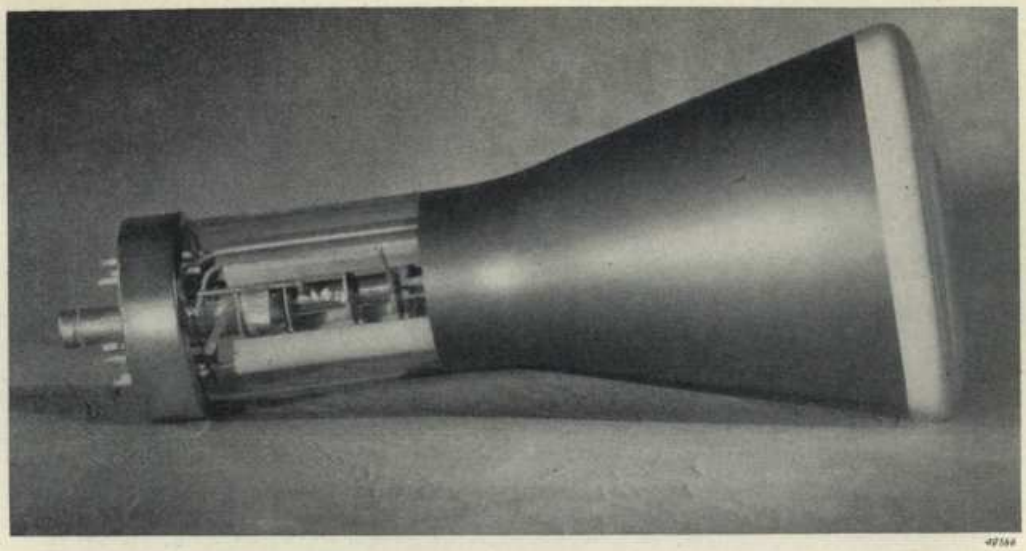


Fig. 3. De nieuwe oscillograafbuis DG 7-3. Schermdiameter 7 cm, totale lengte ca 15 cm. De aan de linkerzijde zichtbare dop beschermt de pompstengel en is voorzien van een nok, waardoor de buis op slechts één manier in de voet past en dus automatisch de pennen op de juiste wijze worden aangesloten.

Het bezwaar van het wegvloeien doet zich vooral voor bij zacht glas; dat van het slechte hechten bij hard glas. Een goed compromis is hier niet te vinden, mede doordat men bovendien aan glassoorten is gebonden waarvan de uitzettingscoëfficient niet te veel van die der metalen steundraden afwijkt.

Gedurende de laatste jaren is een nieuwe techniek ontwikkeld, waarbij de glazen parels zijn vervangen door keramische staafjes (*fig. 4*), voorzien van een groef, die gevuld is met zg. poederglas [3]). Bij de montage van de buis verhit men het staafje, waarbij men, dank zij de hittebestendigheid van het keramische materiaal, zoo ver kan gaan, dat het glas goed vloeibaar wordt. Het wordt daarbij capillair in de groef vastgehouden en vloeit goed om de er in gedoopte electrodenuitsteeksels, waardoor een uitmuntende versmelting tot stand komt. Fig. 1 *b-c* laat het op deze wijze gemonteerde binnenwerk van de oscillograafbuis DG 7-3 zien. Ook bij verschillende andere typen is deze methode, die een nauwkeuriger montage en bovendien een veel sneller werken toelaat dan de oude glastechniek, reeds ingevoerd.

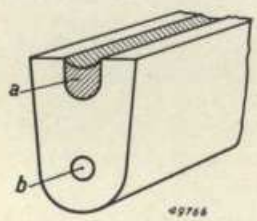


Fig. 4. Profiel van de keramische staafjes, die in de nieuwe montagetechniek de glazen „parels" vervangen. *a* is een met poederglas gevulde groef. Door de opening *b* kan een steunpool worden gestoken die vervolgens aan een doorvoerpen wordt gelascht.

[3]) Verschillende andere toepassingen van poederglas zijn behandeld in een artikel van E. G. Dorgelo, Philips techn. T. 8, 2-7, 1946.

Electronenoptische verbeteringen

Zooals reeds werd vermeld, bracht de vervanging van de kneep door de platte bodem een winst van ca 30 mm in de lengterichting mee. Laten we de afmetingen van de buis en van het electrodensysteem globaal onveranderd, dan neemt de afstand van de deflectieplaten tot het scherm ongeveer met het genoemde bedrag toe. De hoek φ (fig. 2), waarover de electronenbundel moet worden afgebogen om op het scherm een beeld van een gegeven maximale grootte te beschrijven, neemt nagenoeg omgekeerd evenredig met deze afstand af. Dat deze hoek kleiner wordt, is in verschillende opzichten voordeelig. In de eerste plaats beteekent het een grootere deflectiegevoeligheid: er is minder spanning op elk platenpaar noodig om een bepaalde uitslag op het scherm te veroorzaken. De gevoeligheid van de nieuwe buis (DG 7-3) is dan ook ca 15% grooter dan die der oudere typen DG 7-1 en DG 7-2. Maar een belangrijker gevolg van de verkleining van de afbuighoek is dat deflectiefouten, waardoor aan de rand van het scherm defocusseering optreedt, er in sterke mate door worden verminderd.

Hoe één dezer deflectiefouten ontstaat, is verduidelijkt in *fig. 5*. De electrostatische „lens", gevormd door het electrische veld tusschen de focusseeringsanode A_1 en de eindanode A_2, focusseert de electronenbundel in een rond vlekje P op het scherm; de spanning tusschen de afbuigplaten D', D'' (het andere platenpaar blijve hier buiten beschouwing) is

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

nog nul ondersteld. Geeft men nu D' een positieve, D'' een negatieve spanning ten opzichte van de eindanode, dan worden de electronen die zich aan de zijde van D' in de bundel bevinden, versneld, terwijl die aan de kant van D'' vertraagd worden. Nu is, bij een gegeven spanning tusschen de deflectieplaten, de afbuiging van een electronenstraal des te kleiner, naarmate de electronen sneller bewegen. De electronen bij D' zullen dus een kleinere richtingsverandering ondergaan dan die bij D''; zij treffen het scherm bij resp. P' en P''. De oorspronkelijk ronde lichtvlek P is in een ovale vlek P' P'' overgegaan. Berekening toont aan [4]) dat de grootte van deze

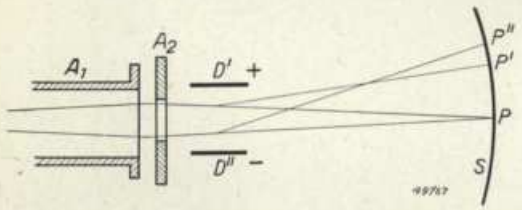


Fig. 5. Verklaring van één der deflectiefouten. De door het electrische veld tusschen de focusseerings- en de eindanode (A_1 resp. A_2) gevormde „lens" brengt de electronen van de bundel in een rond vlekje P op het scherm S samen, zoolang de spanning tusschen de afbuigplaten D', D'' nul is. P', P'': punten waar de uiterste stralen van de bundel het scherm treffen, als tusschen D' en D'' een spanning van de aangegeven polariteit wordt gelegd.

deflectiefout evenredig is met de 2de macht van de gemiddelde afbuighoek, zoodat een betrekkelijk geringe verkleining van deze laatste de fout al sterk reduceert.

Met een andere oorzaak van onscherpte heeft men te maken als de bundel zeer dicht langs een deflectieplaat scheert; het sterk inhomogene veld aan de randen van de plaat zou dan tot defocusseering leiden. In de buis DG 7-3 zijn de plaatafstanden even groot als die in de overeenkomstige oudere buistypen; dank zij de kleinere afbuighoek blijft de bundel zoo ver van de platen verwijderd dat ook de hier bedoelde fout niet meer hinderlijk is.

De grootere afstand van de lens tot het scherm — waaraan de zoo juist genoemde voordeelen te danken zijn — heeft echter ook een minder gunstig gevolg. De vergrooting, gegeven door de verhouding van de afstand lens-scherm tot de afstand lens-kathode [5]), neemt er nl. door toe, wat een geringere scherpte van het lichtende punt op het scherm beteekent. Om dit te vermijden, is niet de geheele vrijgekomen lengte gebruikt om de afstand lens-scherm te vergrooten; ook de afstand lens-kathode is grooter gemaakt, en wel zooveel dat de vergrooting kleiner is dan bij de oudere buizen, hetgeen bij het nieuwe type resulteert in een grootere puntscherpte in het midden van het scherm. Aan de rand is de winst in scherpte door de boven besproken vermindering der deflectiefouten nog belangrijk grooter.

De zoo juist vermelde grootere afstand van de lens tot de kathode is verkregen door de focusseeringsanode (A_1 in fig. 2) te verlengen. Daarbij is er tevens een diafragma (B, fig. 2*b*) in aangebracht, zooals in andere typen kathodestraalbuizen al gebruikelijk was. Door begrenzing van de bundeldiameter draagt een diafragma tot een betere puntscherpte bij. In principe kan men het op een willekeurige plaats in de bundel vóór de deflectieplaten opnemen, maar bij plaatsing in een veldvrije ruimte — zooals het midden van de buisvormige focusseeringsanode — behoeft men niet nauwkeurig op de centreering er van te letten, en bovendien voorkomt men ongewenschte neveneffecten, veroorzaakt door secundaire electronenemissie. De uit het diafragma vrijgemaakte secundaire electronen zullen dan alle weer op de wand van de veldvrije ruimte terecht komen, zonder kans te loopen in de bundel te worden meegezogen. Dit zou namelijk gebeuren, als het diafragma zich in de eindanode bevond; door hun zeer kleine snelheid zouden de secundaire electronen dan alle op de afbuigplaten terecht komen en daarop een hinderlijke stroombelasting vormen. Ook als het diafragma aan het eind van de focusseeringsanode geplaatst was, zouden de secundaire electronen in de bundel kunnen treden. Hun snelheid, na het passeeren van de eindanode, is dan geringer dan die der van de kathode afkomstige electronen, daar de secundaire electronen het spanningsverschil kathode-focusseeringsanode niet hebben doorloopen; zij zouden dientengevolge sterker door de deflectieplaten worden afgebogen en het scherm dus niet op dezelfde plaats treffen als de hoofdbundel. Plaatsing van het diafragma aan de ingang van de focusseeringsanode heeft geen zin, aangezien zich daar reeds een nauwe opening bevindt. De beste plaats voor het diafragma is dus ongeveer halverwege de focusseeringsanode.

Afscherming tusschen de platenparen

Behalve mechanische en electronenoptische verbeteringen, is er in de buis DG 7-3 nog een van geheel andere aard aangebracht, nl. een afscherming tusschen de twee paren afbuigplaten. Hiermee wordt het vooral bij hooge frequenties optredende bezwaar opgeheven, dat een spanning aan het eene platenpaar een uiteraard ongewenschte spanning aan het andere paar te voorschijn kan roepen. Dit effect — naar analogie met bepaalde in de telefonie optredende verschijnselen wel „overspreken" ge-

[4]) P. Deserno, Arch. Elektrotechn. **29**, 139-148, 1935.

[5]) Strikt genomen, moet men hier niet de afstand van de lens tot de kathode nemen, doch die tot de kleinste doorsnede van de bundel tusschen de kathode en de lens; het is namelijk deze kleinste doorsnede welke wordt afgebeeld. Zij bevindt zich echter zoo dicht bij de kathode (1 à 2 mm) dat wij hier gemakshalve toch wel ruwweg van de afstand lens-kathode mogen spreken.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

noemd — uit zich in een vervorming van het oscillogram, die bij een frequentie van 100 000 per/sec al zeer hinderlijk kan zijn. Het vindt zijn oorzaak in de capaciteiten C_1, C_2, C_3, C_4 (*fig. 6*) tusschen de platen (hun toevoerdraden inbegrepen)

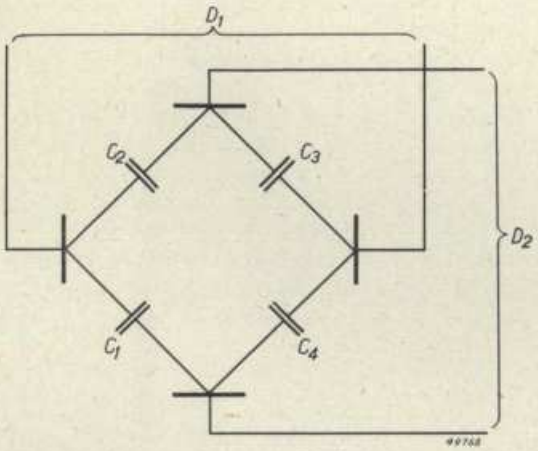


Fig. 6. C_1, C_2, C_3 en C_4 zijn de capaciteiten tusschen de afbuigplaten (en hun toevoerdraden) die tot verschillende paren behooren. Via deze capaciteiten kunnen de platenparen D_1, D_2 elkaar op ongewenschte wijze electrisch beïnvloeden.

die tot verschillende paren behooren, of liever, in de ongelijkheid dezer capaciteiten. Zooals men namelijk kan berekenen, zou het platenpaar D_2 niet door D_1 worden beïnvloed, als $C_1 = C_2$ en $C_3 = C_4$ was; omgekeerd zou D_1 niet door D_2 worden beïnvloed, als $C_1 = C_4$ en $C_2 = C_3$ was. Men zou dus deze beïnvloeding in beide richtingen kunnen opheffen door, met behulp van correctiecondensatoren („trimmers"), de vier capaciteiten even groot te maken, maar deze zijn zoo klein (enkele pF) dat dit corrigeeren practisch niet goed doenlijk is. Veel eenvoudiger is het, door afscherming de capaciteiten zoo ver te reduceeren dat de verschillen klein genoeg worden om het „overspreken" onmerkbaar te maken. Dat dit inderdaad gelukt, is mede te danken aan het feit dat de capaciteiten tusschen de doorvoerpennen in de platte bodem zooveel geringer zijn dan de capaciteiten tusschen de doorvoerdraden in een kneep met de bijbehoorende huls.

De genoemde afscherming bestaat uit twee metalen schotten, één (*C* in fig. 2*b*) tusschen de twee paren afbuigplaten, met een opening voor het doorlaten van de bundel, en één tusschen de twee paren toevoerdraden. De beide schotten, in fig. 1*c* goed zichtbaar, zijn met de eindanode verbonden. Door deze maatregelen zijn de capaciteiten van enkele pF tot minder dan 0,1 pF teruggebracht. Mits ook de uitwendige leidingen onderling voldoende worden afgeschermd, heeft men hierbij van wederzijdsche beïnvloeding der platenparen, ook bij zeer hooge frequenties, geen last meer.

Het spreekt vanzelf dat de verschillende hier besproken verbeteringen niet tot één buistype beperkt zullen blijven, maar voor zoover er aanleiding toe is, ook in andere typen toepassing zullen vinden, hetgeen gedeeltelijk reeds het geval is.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

OVER DE KRISTALSTRUCTUUR VAN FERRIETEN EN ANALOGE METAALOXYDEN

546.723-3:548.73

door E. J. W. VERWEY, P. W. HAAYMAN en E. L. HEILMANN †.

Ferrieten zijn binaire oxyden, waarvan het technisch belangrijkste type door de algemeene chemische formule MFe_2O_4 wordt aangeduid (M tweewaardig metaal). Daaronder zijn van bijzonder belang voor de electrotechniek ferrieten met een kristalstructuur die analoog is aan die van het mineraal spinel $MgAl_2O_4$. Deze ferrieten vormen nl. een essentieel bestanddeel van het nieuwe magnetische materiaal voor hooge frequenties, het „Ferroxcube", en ook van bepaalde weerstandsmaterialen die een groote (negatieve) temperatuurcoëfficient van de weerstand hebben. De magnetische en electrische eigenschappen van deze ferrieten en van de mengkristallen waarvan zij deel uitmaken, hangen nu zeer nauw samen met bepaalde bijzonderheden van hun kristalstructuur. Deze wordt in dit artikel beschreven. Het blijkt daarbij dat men de gegevens omtrent de structuur van de bedoelde ferrieten en van hun mengkristallen met stoffen van analoge structuur kan samenvatten in drie „regels", die de bereiding van materialen met gewenschte physische eigenschappen aanzienlijk vergemakkelijken.

In de laatste jaren zijn in de Philips-Laboratoria allerlei nieuwe materialen ontwikkeld die van belang zijn voor de electrotechniek. Daaronder nemen bepaalde ferrieten en de mengkristallen van ferrieten een afzonderlijke plaats in. De ferrieten zijn binaire oxyden met de formule $MFeO_2$ of MFe_2O_4, waarin M een eenwaardig respectievelijk tweewaardig metaal aanduidt. In dit artikel zullen we het uitsluitend over de ferrieten met tweewaardig metaal hebben. Uit mengkristallen van deze ferrieten is het nieuwe magnetische materiaal voor hooge frequenties, het „Ferroxcube", samengesteld, dat onlangs in dit tijdschrift uitvoerig is besproken [1]). Ook maken deze ferrieten deel uit van bepaalde mengkristallen, die practische beteekenis hebben door de groote, negatieve temperatuurcoëfficient van de weerstand. Alle ferrieten die in het „Ferroxcube" en in de hier bedoelde weerstandsmaterialen toepassing vinden, hebben dit met elkaar gemeen, dat zij dezelfde kristallografische structuur vertoonen, en wel die van het mineraal spinel, $MgAl_2O_4$, dat in het kubische stelsel kristalliseert. Het is gebruikelijk geworden ferrieten en andere verwante oxyden die de spinelstructuur hebben en die aan de formule XY_2O_4 beantwoorden, waarin X en Y metalen aanduiden, ook spinellen te noemen. Wij zullen in dit artikel vaak deze terminologie bezigen en zoodoende zullen wij de verwarring vermijden die door de term „ferrieten" kan ontstaan wegens het feit dat er ook ferrieten met tweewaardig metaal bekend zijn welke een andere structuur hebben.

Daar de magnetische en electrische eigenschappen van spinellen zeer nauw samenhangen met de ligging van de metaalionen in het kristalrooster, was het gewenscht de spinelstructuur in detail te bestudeeren. De resultaten van dit kristallografisch onderzoek zullen wij in dit artikel bespreken; op de electrische eigenschappen van de spinellen en hun toepassing als weerstandsmaterialen zullen wij in een volgend artikel terugkomen (de magnetische eigenschappen zijn reeds het onderwerp geweest van het zooeven aangehaalde artikel).

Het spinelrooster

De structuur van een ideaal kristalrooster is volledig gegeven, zoodra men de rangschikking van de atomen in de zg. elementaircel kent. De elementaircel is de kleinste structuureenheid, en wel in het algemeenste geval een parallelopipedum. Door zulke parallelopipeda naast en op elkaar te stapelen zoodanig, dat hun overeenkomstige ribben evenwijdig zijn, krijgt men het geheele kristal.

Uit de röntgenanalyse is nu het volgende bekend over de structuur van een elementaircel van het spinelrooster.

De elementaircel is een kubus die 8 moleculen XY_2O_4, dwz. in totaal 56 atomen bevat. Tengevolge van dat aanzienlijke aantal atomen per elementaircel is de structuur van deze laatste vrij ingewikkeld. Wij zullen ons eerst met de ligging van de zuurstofionen bezighouden en pas daarna met die van de metaalionen [2]).

Denken wij ons voorloopig alle metaalionen uit het spinelrooster weggenomen, dan is het rooster van de overblijvende zuurstofionen betrekkelijk

[1]) Philips technisch T. **8**, 353, 1946.

[2]) Wij spreken hier gemakshalve van zuurstofionen en van metaalionen. Dit beteekent echter niet dat wij daarmede de onderstelling invoeren, dat men bij het spinelrooster met een zuivere ionenbinding te maken heeft.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

eenvoudig. De elementaircel van dit zuurstofionenrooster blijkt nl. lineair twee maal zoo klein te zijn als die van het spinelrooster en bevat dus slechts vier zuurstofionen. Met andere woorden: indien men de elementairkubus van het spinelrooster in acht gelijke kubusjes — die wij voortaan „octanten" zullen noemen — verdeelt, dan zijn deze acht octanten, wat de ligging van de zuurstofionen aangaat, volkomen identiek.

Wij zullen nu de ligging van de metaalionen in de holten tusschen de zuurstofionen nader bespreken. Deze holten zijn tweeërlei.

Ten eerste: de holten welke omringd zijn door vier zuurstofionen, die een tetraëder vormen; deze holten kunnen tetraëderholten worden genoemd. Ten tweede: de holten welke omringd zijn door acht zuurstofionen, die een octaëder vormen en dienovereenkomstig octaëderholten kunnen worden

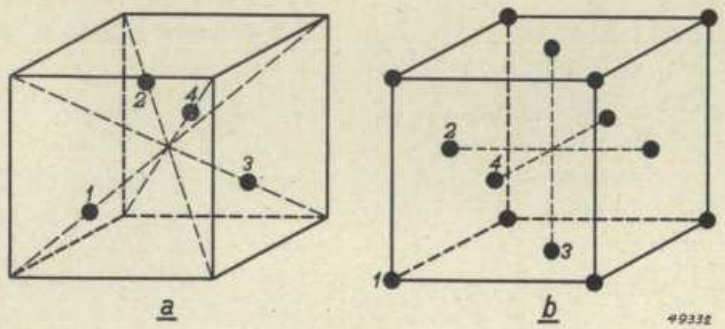


Fig. 1. *a*) en *b*): Twee mogelijke keuzen van de elementaircel van het zuurstofionenrooster in spinellen. De groote zwarte stippen duiden de zuurstofionen aan. *b*) ontstaat uit *a*) door verschuiving van alle roosterpunten evenwijdig aan de lichaamsdiagonaal waarop zich het zuurstofion *1* bevindt.

De ligging van de vier zuurstofionen in een octant is nu zoodanig, dat zich op elke lichaamsdiagonaal van het octant één zuurstofion bevindt, zooals in *fig. 1a* is voorgesteld; de afstand van het ion tot het dichtstbij gelegen hoekpunt van het octant is daarbij voor alle vier ionen dezelfde en bedraagt $^1/_4$ van de lengte van de diagonaal.

De middelpunten van de zuurstofionen in dit zuurstofionenrooster hebben dezelfde ruimtelijke rangschikking als de middelpunten van een stapeling van bollen die een kubische symmetrie vertoont en waarbij de leege ruimte tusschen de bollen zoo klein mogelijk is, dwz. van de zg. dichtste kubische bolstapeling.

Of de zuurstofionen in de spinellen elkaar „raken", zooals de bollen in de kubische stapeling, hangt natuurlijk af van de grootte der metaalionen, die zich immers ergens tusschen de zuurstofionen moeten bevinden. Nu zijn de metaalionen in het algemeen aanmerkelijk kleiner dan de zuurstofionen. Daarom kunnen zij in de holten tusschen de kubische stapeling van de zuurstofionen geplaatst worden, zonder haar veel te doen „opzwellen". De zuurstofionen raken elkaar dus bijna.

Het dient opgemerkt te worden dat in werkelijkheid het zuurstofionenrooster der spinellen iets van de rangschikking volgens de dichtste kubische bolstapeling afwijkt. De afwijkingen ontstaan door het feit dat de metaalionen niet overal op gelijke wijze de hen direct omringende zuurstofionen opzij drukken. Deze verschuivingen geschieden echter zoodanig, dat de kubische symmetrie behouden blijft.

genoemd. De tetraëder- resp. de octaëderholten zijn alle onderling gelijkwaardig; daarbij zijn de tetraëderholten aanzienlijk kleiner dan de octaëderholten.

De ligging van de middelpunten van de tetraëder- en octaëderholten zijn resp. in *fig. 2a* en *b* aangegeven. De rangschikking van de tetraëders en octaëders kan iets worden verduidelijkt door de elementaircel van het zuurstofionenrooster anders te kiezen. Indien men zich nl. alle roosterpunten in de richting van een lichaamsdiagonaal zoodanig verschoven denkt, dat het in fig. 1*a* met nummer *1* aangeduide zuurstofion in het hoekpunt links onder komt te liggen, ontstaat de elementaircel zooals in fig. 1*b* is weergegeven. Dienovereenkomstig gaat dan fig. 2*a* en *b* resp. in fig. 2*c* en *d* over. Men kan zich aan de hand van deze figuren overtuigen dat er per elementaircel van het zuurstofionenrooster (dwz. per octant van de elementaircel van het spinelrooster) 4 octaëder- en 8 tetraëderholten zijn. Per elementaircel van het spinelrooster beschikken we dus over 96 holten.

Welke van de 96 holten zijn door de 24 metaalionen bezet?

De 8 octanten van een elementaircel blijken wat de ligging van de metaalionen betreft in twee groepen van 4 octanten uiteen te vallen, en wel zoo, dat de 4 octanten van een groep volkomen identiek zijn; de rangschikking van de octanten is daarbij zoodanig, dat twee octanten van eenzelfde soort telkens één ribbe gemeen hebben (zie *fig. 3*). In de octanten van de eene soort zijn slechts de

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

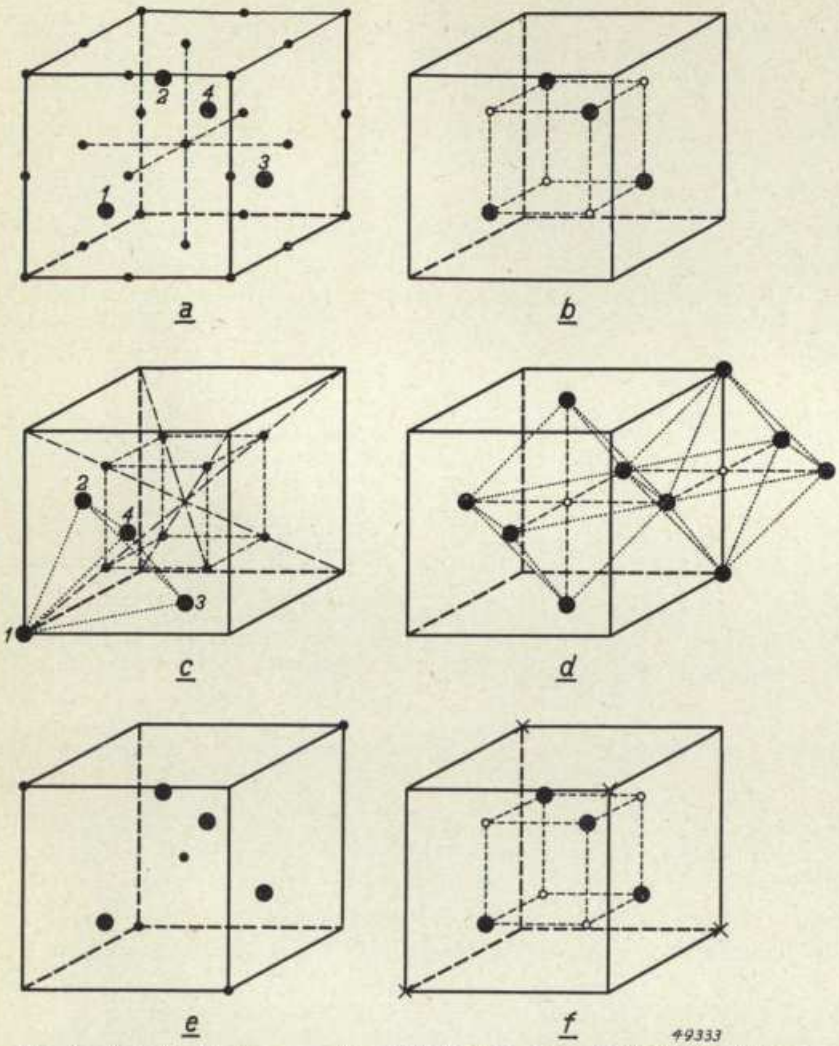


Fig. 2. *a*) en *b*): Ligging van de middelpunten der tetraëderholten (kleine zwarte stippen), resp. der octaëderholten (kleine cirkeltjes) in de elementaircel van het zuurstofionenrooster, indien men deze volgens fig. 1*a* kiest. *c*) en *d*): Hetzelfde als in *a*) en *b*) indien men de elementaircel zooals in fig. 1*b* kiest; met andere woorden, *c*) en *d*) ontstaan resp. uit *a*) en *b*) door verschuiving van alle roosterpunten evenwijdig aan de lichaamsdiagonaal waarop zich het zuurstofion *1* bevindt. Terwille van de overzichtelijkheid zijn in *c*) en *d*) niet alle zuurstofionen en niet alle octaëdermiddelpunten aangeduid. *e*) en *f*) ontstaan resp. uit *a*) en *b*) door het weglaten van al die tetraëder- resp. octaëdermiddelpunten, welke door de metaalionen niet bezet worden; in *f*) zijn bovendien met kruisjes de bezette tetraëdermiddelpunten aangegeven, die in de tekst als tot de octanten van de andere soort behoorend werden beschouwd.

4 octaëderholten bezet (vgl. fig. 2*f*); in de octanten van de andere soort zijn alle octaëderholten onbezet en van de tetraëderholten slechts twee bezet, zooals in fig. 2*e* is aangegeven [3]).

Fig. 4 geeft de rangschikking weer zoowel van de zuurstofionen als van de metaalionen in de elementaircel van het eigenlijke spinel $MgAl_2O_4$. De figuur geeft iets meer informatie dan uit het bovenstaande volgt. Immers, wij hebben ons tot dusver bezig gehouden met de ligging van de metaalionen, zonder het feit in aanmerking te nemen dat er in elk spinel twee soorten metaalionen aanwezig zijn, terwijl in de figuur de ligging van de twee soorten metaalionen afzonderlijk aangeduid is. Dit laatste zullen wij nu nader bespreken.

De verdeeling van de verschillende metaalionen over de beschikbare holten

Aan de algemeene chemische formule XY_2O_4 voldoen zoowel de spinellen, welke uit één tweewaardig en twee driewaardige metaalionen (per „molecuul") zijn opgebouwd (bijv. $MgAl_2O_4$), als de spinellen, welke uit één vierwaardig en twee tweewaardige metaalionen (per „molecuul") zijn opgebouwd (bijv. Mg_2TiO_4). Wij zullen onze aandacht vestigen op de eerstgenoemde mogelijkheid. Voor het andere geval gelden analoge overwegingen.

Wij hebben gezien dat in de spinelstructuur 8 tetraëderholten en 16 octaëderholten, waarvan de plaats in de elementaircel werd aangegeven, bezet zijn door metaalionen. Deze 24 holten zullen wij voortaan als de voor de metaalionen „beschikbare" aanduiden. Hoe zijn nu de twee- en driewaardige metaalionen over de beschikbare holten verdeeld? (Zooals reeds werd vermeld, is het antwoord op deze vraag van groot belang voor de voorspelling van de physische eigenschappen van spinellen.)

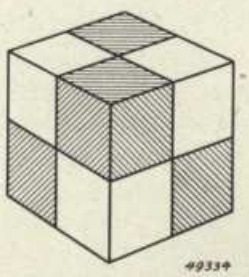


Fig. 3. De kubus stelt symbolisch de elementaircel van het spinelrooster voor. De vier gearceerde resp. de vier niet-gearceerde octanten zijn alle op dezelfde wijze door de metaalionen bezet, nl. zooals in fig. 2*e* resp. 2*f*.

Aanvankelijk heeft men gemeend dat dit geen probleem was. De 8 tweewaardige ionen worden — dacht men — in de 8 beschikbare tetraëderholten

[3]) In fig. 2*e* ziet men het middelpunt van de kubus en vier hoekpunten als door metaalionen bezet aangeduid. Men vergete echter niet dat elk van de bezette hoekpunten als behoorende tot vier gelijksoortige octanten moet worden beschouwd, zoodat het slechts voor $^1/_4$ telt. Er zijn dus inderdaad, zooals in de tekst wordt beweerd, $1 + 4 \cdot {}^1/_4 = 2$ bezette tetraëderholten per octant.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

en de 16 driewaardige ionen in de 16 beschikbare octaëderholten geplaatst. In vele gevallen is het inderdaad zoo; het eigenlijke spinel $MgAl_2O_4$ kan hiervoor als voorbeeld dienen (vgl. fig. 4).

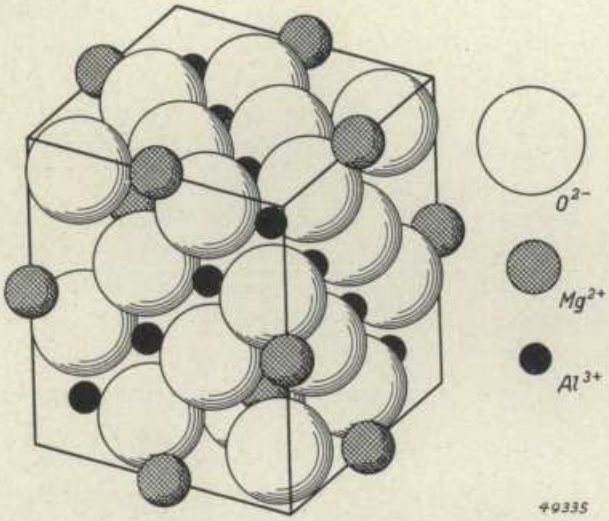


Fig. 4. Elementaircel van het eigenlijke spinel $MgAl_2O_4$. Men ziet dat de zuurstofionen veel grooter zijn dan de metaalionen.

Barth en Posnjak[4]) hebben er echter op gewezen dat deze eenvoudige veronderstelling geenszins in alle gevallen juist is. Door bestudeering van de röntgendiffractie-opnamen van een aantal spinellen waarin de twee soorten metaalionen een voldoende groot verschil in verstrooiend vermogen voor röntgenstralen hebben, konden zij aantoonen, dat er ook spinellen voorkomen met de 8 tweewaardige ionen in 8 van de 16 beschikbare octaëderholten en met de 16 driewaardige ionen gelijk verdeeld over de overige 8 beschikbare octaëderholten en de 8 tetraëderholten. De 8 tweewaardige en 8 driewaardige ionen zijn daarbij willekeurig over de 16 genoemde octaëderholten verdeeld. Met andere woorden: in de beschikbare octaëderholten van een elementaircel zal men slechts gemiddeld gelijke aantallen twee- en driewaardige ionen aantreffen. Dit beteekent ook, dat het begrip „elementaircel" hier wat de metaalionen aangaat zijn zin heeft verloren.

De electrostatisch stabielste configuratie van een spinelrooster

Wanneer men ziet, dat in sommige spinellen de gelijk geladen metaalionen zich slechts in de octaëderholten bevinden en in andere spinellen deze ionen verdeeld zijn over octaëder- en tetraëderholten, dan vraagt men zich af, waardoor dit wordt bepaald.

[4]) T. F. W. Barth en E. Posnjak, Z. Kristallogr. **82**, 325, 1932.

Men zou kunnen onderstellen dat dit afhangt van de grootte van de ionen, zoodat bijv. de kleinste ionen zooveel mogelijk in de tetraëderholten, die immers aanzienlijk kleiner zijn dan de octaëderholten, zullen voorkomen; doch dit is in strijd met de waarnemingen.

Een andere factor die de verdeeling van de metaalionen over de beschikbare holten kan bepalen, is de electrostatische energie van het spinelrooster (voortaan aangeduid als „roosterenergie"), dwz. de energie die gewonnen wordt als men de ionen, welke men zich eerst op oneindige afstand van elkaar denkt, samenvoegt tot het spinelrooster. Want, indien de chemische binding in een spinelrooster tot stand komt alleen door de electrostatische (Coulomb-) krachten (aantrekking tusschen positieve en negatieve ionen, afstooting tusschen ionen van gelijk teeken), zal die verdeeling van metaalionen de stabielste zijn en dus ook verwezenlijkt worden, waarbij de roosterenergie de grootste waarde heeft. Om te beslissen of dit inderdaad zoo is, hebben wij de roosterenergie voor enkele mogelijke verdeelingen van metaalionen uitgerekend. De resultaten van deze berekeningen geven wij hieronder; de vergelijking met de waarnemingen zal het onderwerp zijn van de volgende paragraaf.

Wij beschouwen spinellen *A*) welke uit twee- en driewaardige metaalionen zijn opgebouwd en *B*) welke uit twee- en vierwaardige metaalionen zijn opgebouwd. Zoowel in het geval (*A*) als in het geval (*B*) doen zich nog twee mogelijkheden voor. In het geval (*A*):

Aa) De tweewaardige ionen bevinden zich uitsluitend in de tetraëderholten en de driewaardige uitsluitend in de octaëderholten. De roosterenergie E per molecuul XY_2O_4 bedraagt dan

$$E_{Aa} = 150{,}3\,\frac{e^2}{a}\ \text{erg},$$

waarbij e de lading van het electron in e.s.e. en a de roosterconstante in cm, dwz. de lengte van de ribbe van de elementaircel, zijn.

Ab) De tweewaardige ionen bevinden zich uitsluitend in de octaëderholten en de driewaardige zijn gelijk verdeeld over de octaëder- en tetraëderholten:

$$E_{Ab} = 143{,}6\,\frac{e^2}{a}.$$

In het geval (*B*):

Ba) De vierwaardige ionen bevinden zich uitsluitend in de tetraëderholten en de tweewaardige uitsluitend in de octaëderholten:

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

$$E_{Ba} = 142{,}1\,\frac{e^2}{a}.$$

Bb) De vierwaardige ionen bevinden zich uitsluitend in de octaëderholten en de tweewaardige zijn gelijk verdeeld over octaëder- en tetraëderholten:

$$E_{Bb} = 150{,}3\,\frac{e^2}{a}.$$

Omtrent de berekeningen die tot deze resultaten hebben geleid, willen wij hier nog het volgende opmerken. In geval (*Aa*) krijgen wij dezelfde waarde van de roosterenergie als in geval (*Bb*), doordat wij in dat laatste geval, waarin immers in de octaëderholten de twee- en vierwaardige ionen in gelijke aantallen willekeurig verdeeld voorkomen, hebben aangenomen dat dit electrostatisch op hetzelfde neerkomt als een verdeeling van driewaardige ionen, waarvan het aantal gelijk is aan dat van de twee- en vierwaardige ionen samen. Op soortgelijke wijze hebben wij bij de berekening in geval (*Ab*), waarin de twee- en driewaardige ionen in de octaëderholten voorkomen, deze als $2^1/_2$-waardige ionen beschouwd.

Uit de vergelijking van de berekende waarden der roosterenergie blijkt nu dat de stabielste toestand van een spinelrooster, opgebouwd uit twee- en driewaardige metaalionen, aan geval (*Aa*) beantwoordt, waarbij dus de driewaardige ionen zich uitsluitend in de octaëderholten bevinden. Voor een uit twee- en vierwaardige metaalionen opgebouwd spinelrooster blijkt daarentegen die toestand de stabielste te zijn, waarbij de twee- en vierwaardige ionen over de octaëderholten verdeeld zijn (geval *Bb*). Deze conclusie geldt daarbij slechts indien de roosterconstante *a* in de gevallen (*Aa*) en (*Ab*) resp. in de gevallen (*Ba*) en (*Bb*) ongeveer dezelfde waarde heeft, hetgeen wel plausibel is.

Dat de gevallen (*Aa*) en (*Bb*) aan de electrostatisch stabielste toestanden moeten beantwoorden, is ook kwalitatief goed in te zien. Immers, het zal energetisch voordeelig zijn als het hoogst geladen metaalion door zooveel mogelijk negatieve zuurstofionen is omringd. En dat doet zich juist voor in geval (*Aa*) resp. (*Bb*).

Toetsing aan de waarnemingen

Om de boven aangegeven theoretische uitkomsten te kunnen vergelijken met de werkelijkheid, hebben we van een groot aantal spinellen de verdeeling der metaalionen röntgenanalytisch vastgesteld. De zoo verkregen gegevens, gecombineerd met de reeds vroeger uit de onderzoekingen van Barth en Posnjak bekende, leiden tot de volgende conclusies.

Zoowel voor aluminaten MAl_2O_4 en chromieten MCr_2O_4 (M tweewaardig metaal), waarbij dus de metaalionen twee- en driewaardig zijn, als voor de titanaten M_2TiO_4 en de stannaten M_2SnO_4, (M tweewaardig metaal), waarbij de metaalionen twee- en vierwaardig zijn, is de werkelijke verdeeling der metaalionen over de beschikbare holten in overeenstemming met onze berekening op grond van de electrostatische roostertheorie.

Wat de ferrieten betreft, is de situatie niet zoo eenvoudig. In $ZnFe_2O_4$ en $CdFe_2O_4$ is de verdeeling der metaalionen in overeenstemming met de electrostatische theorie; in $MgFe_2O_4$ en $CuFe_2O_4$ daarentegen niet: hier zijn de driewaardige ionen (ferrionen) over octaëder- en tetraëderholten verdeeld. In de overige ferrieten met spinelstructuur, bijv. $CoFe_2O_4$, $MnFe_2O_4$ en Fe_3O_4, is het verschil in verstrooiend vermogen tusschen de twee- en driewaardige metaalionen te klein, om uit de intensiteitsverhoudingen der röntgenreflecties iets omtrent de plaatsing der ionen te kunnen zeggen. Wij kunnen hierover echter nog wel iets zeggen, als we de waarden van de roosterconstante voor verschillende aluminaten, chromieten en ferrieten met elkaar vergelijken.

In *tabel I* zijn de waarden der roosterconstante voor verschillende aluminaten, chromieten en ferrieten samengebracht. Bij de overgang van een aluminaat naar het correspondeerende chromiet neemt de roosterconstante toe, in overeenstemming met het feit dat de straal van het Cr^{3+}-ion grooter is dan die van het Al^{3+}-ion. Deze toeneming is daarbij voor alle paren van correspondeerende chromieten en aluminaten ongeveer gelijk, nl. ca 0,24 Å. Daar het verschil tusschen de straal van het Fe^{3+}-ion en die van het Cr^{3+}-ion ongeveer de helft bedraagt van het verschil tusschen de straal van het Cr^{3+}-ion en die van het Al^{3+}-ion, zou men kunnen verwachten, dat de toeneming der roosterconstante, bij de overgang van een chromiet naar het correspondeerende ferriet, ongeveer $0{,}24 : 2 = 0{,}12$ Å zal worden. Dit is inderdaad zoo in het geval van Zn- en Cd-ferriet, dwz. van die ferrieten, waarvoor de verdeeling van metaalionen met de electrostatische theorie overeenstemt. Voor alle andere ferrieten constateert men echter iets bijzonders: de toeneming der roosterconstante is veel kleiner en wel voor alle ongeveer gelijk aan 0,05 Å.

Nu behooren tot de ferrieten die zich, wat de waarde der roosterconstante betreft, afwijkend, doch onderling gelijk gedragen, ook Mg- en Cu-ferriet, waarbij de ferri-ionen verdeeld zijn over

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

de tetraëder- en octaëderholten. Hieruit meenen wij te mogen besluiten dat de verdeeling der metaalionen in Co-, Mn-, en Fe^{2+}-ferriet over de beschikbare holten dezelfde is als in Mg- en Cu-ferriet, dwz. dat de ferri-ionen in al deze ferrieten ook verdeeld zijn over de tetraëder- en octaëderholten.

Tabel I.

In kolom (2), (4) en (6) zijn resp. de waarden (in Å) van de roosterconstante voor verschillende aluminaten, chromieten en ferrieten aangegeven, in kolom (3) en (5) de verschillen tusschen deze waarden voor de met elkaar correspondeerende chromieten en aluminaten, resp. ferrieten en chromieten. De getallen in kolom (1) zijn de stralen (ook in Å) van de tweewaardige metaalionen. De stralen van de driewaardige ionen zijn onder hun chemische symbolen aangegeven. Cu-chromiet en Cd-aluminaat met spinelstructuur zijn onbekend. De waarde van de roosterconstante van Mn-ferriet is onzeker. De gegevens omtrent de straal van het Cu^{2+}-ion zijn tegenstrijdig; daarom is deze waarde hier niet opgenomen.

(1)		(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
		Al^{3+} 0,57		Cr^{3+} 0,64		Fe^{3+} 0,67
Ni^{2+}	0,78	8,05	0,25	8,30	0,06	8,36
Cu^{2+}		8,07	—	—	—	8,37
Mg^{2+}	0,78	8,07	0,24	8,31	0,05	8,36
Co^{2+}	0,82	8,08	0,24	8,32	0,04	8,36
Zn^{2+}	0,83	8,07	0,23	8,30	0,12	8,42
Fe^{2+}	0,83	8,12	0,22	8,34	0,05	8,39
Mn^{2+}	0,91	8,26	0,23	8,49	0,06?	8,55?
Cd^{2+}	0,97	—	—	8,57	0,12	8,69

Er zijn nog andere, niet minder belangrijke argumenten die voor de juistheid van deze conclusie pleiten.

Een argument wordt bijv. geleverd door het feit dat al deze ferrieten ferromagnetisch zijn, juist met uitzondering van Zn- en Cd-ferriet. Deze kwestie is kort behandeld in het in noot [1]) reeds aangehaalde artikel; hier willen wij daarop niet nader ingaan. Een ander argument kan men afleiden uit de beschouwing van het geleidingsvermogen van de mengkristallen van ferrieten, waarop wij in een volgend artikel zullen terugkomen.

Tot slot van de hierboven gegeven discussie van de waarschijnlijke verdeeling van de metaalionen over de beschikbare holten willen wij nog dit opmerken. De goede overeenstemming tusschen de zuiver electrostatische theorie van het spinelrooster en het experiment in het geval van aluminaten, chromieten en Zn- en Cd-ferriet behoeft nog niet te beteekenen dat de chemische binding van deze spinellen nagenoeg zuiver electrostatisch is, al spelen de electrostatische krachten ongetwijfeld een belangrijke rol. Er zijn nl. vele aanwijzingen dat de binding der spinellen niet geheel door de electrostatische opvatting van de chemische valentie benaderd kan worden en dat homopolaire krachten (dwz. atoombinding in tegenstelling tot ionenbinding) belangrijk tot het totale bindingsbeeld bijdragen. De verklaring van het feit dat de ferrieten zich niet alle gelijk gedragen wat de verdeeling van de metaalionen betreft, moet gezocht worden in bepaalde finesses die met deze niet-electrostatische krachten samenhangen. Wij willen hier niet verder op ingaan, ook al omdat de theorie nog niet in staat is het verschijnsel bevredigend te verklaren.

Regels van de metaalionenverdeeling in spinellen

Op grond van de hierboven besproken resultaten kunnen wij nu voor de structuur van spinellen, welke uit twee- en driewaardige resp. twee- en vierwaardige metaalionen zijn opgebouwd, de volgende regels opstellen.

1) De drie- en vierwaardige metaalionen bezetten de octaëderholten in overeenstemming met het electrostatische beeld van de opbouw van spinellen.
2) Uitzonderingen zijn Fe^{3+}-ionen, welke bij voorkeur de tetraëderholten bezetten. In^{3+}- en

Tabel II.

Structuur van de mengkristallen van twee spinellen waarbij de componenten in een molverhouding 1 : 1 zijn genomen. De symbolen van de ionen die zich in de octaëderholten bevinden, zijn tusschen haakjes gezet. Romeinsche cijfers geven de waardigheid van de ijzerionen aan.

Componenten van het mengkristal			Structuur van het mengkristal
$Fe^{III}(Fe^{II}, Fe^{III})O_4$	en	$Fe^{II}(Al, Al)O_4$	$Fe^{III}(Fe^{II} Al)O_4$
$Fe^{III}(Cu, Fe^{III})O_4$	en	$Zn(Fe^{III}, Fe^{III})O_4$	$Zn_{0,5}\,Fe^{III}_{0,5}(Fe^{III}_{1,5}, Cu_{0,5})O_4$
$Zn(Fe^{III}, Fe^{III})O_4$	en	$Zn(Cr, Cr)O_4$	$Zn(Fe^{III}, Cr)O_4$
$Zn(Ti, Zn)O_4$	en	$Fe^{III}(Mg, Fe^{III})O_4$	$Zn(Fe^{III}, Mg_{0,5}, Ti_{0,5})O_4$
$Mg(Ti, Mg)O_4$	en	$Fe^{III}(Mg, Fe^{III})O_4$	$Fe^{III}(Ti_{0,5}, Mg_{1,5})O_4$
$Zn(Fe^{III}, Fe^{III})O_4$	en	$Fe^{III}(Fe^{III}_{1,67})O_4$	$Zn_{0,5}\,Fe^{III}_{0,5}(Fe^{III}_{1,83})O_4$

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!

www.freeservicemanuals.info 11/14/2023

Ga^{3+}-ionen, waarover wij in dit artikel niet hebben gesproken, zijn ook uitzonderingen op regel (1).

3) Zn^{2+} en Cd^{2+} bezitten een sterke voorkeur voor de tetraëderholten en zijn in staat de onder (2) genoemde ionen uit deze holten te verdrijven.

Uit de intensiteitsmetingen aan röntgendiffractie-opnamen hebben wij kunnen uitmaken dat deze regels hun geldigheid behouden ook bij de vorming van mengkristallen tusschen spinellen. Eenige voorbeelden hiervan geven wij in *tabel II*.

Ofschoon wij er dus niet in geslaagd zijn om de structuur der spinellen theoretisch volledig te doorgronden — de voorkeur van Fe^{3+}-ionen voor de tetraëderholten blijft eenigszins geheimzinnig —, heeft het onderzoek het resultaat gehad dat wij met behulp van de boven geformuleerde regels de plaats der metaalionen in elk willekeurig mengkristal met zeer groote waarschijnlijkheid kunnen voorspellen en daardoor ook materialen met gewenschte ionenverdeeling kunnen maken. Zooals uit een volgend artikel moge blijken, heeft dit niet-onbelangrijke practische consequenties.

Het laatst verschenen nummer van *Philips Research Reports* (Vol. 2, No. 2, April 1947) bevat de volgende artikelen:

R 37: J. L. Meyering and M. J. Druyvesteyn: Hardening of metals by internal oxidation, part I.

R 38: H. C. Hamaker: Radiation and heat conduction in light-scattering material, II. General equations including heat conduction.

R 39: H. C. Hamaker: Radiation and heat conduction in light-scattering material, III. Application of the theory.

R 40: A. van Weel: An improved method for coupling valves at ultra-short waves.

R 41: F. L. H. M. Stumpers: Interference problems in frequency modulation.

Degenen die voor een der bovenvermelde artikelen belangstelling hebben, kunnen zich wenden tot de Administratie van het Natuurkundig Laboratorium, Kastanjelaan, Eindhoven, waar een beperkt aantal overdrukken voor gratis verspreiding ter beschikking is.
Voor een abonnement op Philips Research Reports wende men zich tot den uitgever van het Philips Technisch Tijdschrift.

Digitized in Heiloo the Netherlands Not for sale!